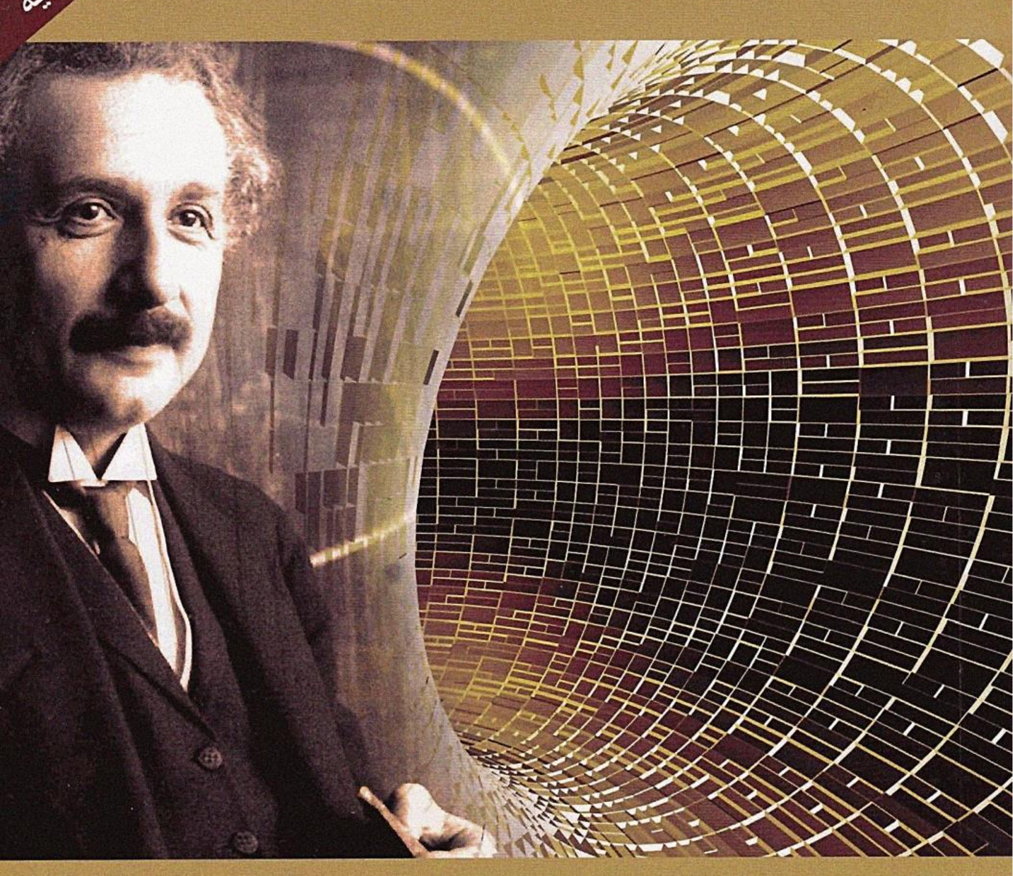
الطبعة الثانية

ميشيو كاكو



كون أينشتاين

كيف غيرت رؤى ألبرت أينشتاين من إدراكنا للزمان والمكان

كون أينشتاين



كون أينشتاين

كيف غيرت رؤى ألبرت أينشتاين
من إدراكنا للزمان والمكان

تأليف

ميشيو كاكو

ترجمة

شهاب ياسين



Einstein's Cosmos

Michio Kaku

كون أينشتاين

ميشيو كاكو

الطبعة الثانية ٢٠١٢م
رقم إيداع ١٦٠٤٤/٢٠١٠
جميع الحقوق محفوظة للناشر كلمات عربية للترجمة والنشر
(شركة ذات مسئولية محدودة)

كلمات عربية للترجمة والنشر
إن كلمات عربية للترجمة والنشر غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبّر الكتاب عن آراء مؤلفه
ص.ب. ٥٠، مدينة نصر ١١٧٦٨، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ‎+٢٠٢ ٢٢٧٢٧٤٣١ **فاكس:** ‎+٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥١
البريد الإلكتروني: kalimat@kalimat.org
الموقع الإلكتروني: http://www.kalimat.org

كاكو، ميشيو
كون أينشتاين: كيف غيرت رؤى ألبرت أينشتاين من إدراكنا للزمان والمكان / ميشيو كاكو . - القاهرة : كلمات عربية للترجمة والنشر، ٢٠١١.
٢٢٤ص، ١٤,٥×٢١,٠سم
تدمك: ١ ٥٨ ٦٢٦٣ ٩٧٧ ٩٧٨
١- الفيزيائيون
٢- العلماء
٣- أينشتاين، ألبرت، ١٨٧٩–١٩٥٥
٤- الفيزياء
أ- العنوان
٩٢٥,٣

المحتويات

إهداء

أهدي هذا الكتاب إلى ميشيل وأليسون

مقدمة

نظرة جديدة على إرث ألبرت أينشتاين

هو العبقري، والأستاذ شارد الذهن ألبرت أينشتاين، صاحب نظرية النسبية، والهيئة الشهيرة التي طبعت في أذهاننا جميعًا إلى الأبد؛ بشعره الثائر، وقدميه اللتين تنتعلان الحذاء دون جورب، وكنزته الواسعة، وغليونه، وشروده عما حوله. كتب عنه دينيس بريان مؤرخ السير قائلًا: «لقد غدا أقرب لنجوم الفن مثل إلفيس بريسلى ومارلين مونرو، وصار وجهه ذو النظرة الغامضة يطبع على البطاقات البريدية وأغلفة المجلات والتيشيرتات وعلى ملصقات رائعة وأخاذة. بل إن أحد مندوبي الإعلانات في بيفرلي هيلز استخدم صورته في الإعلانات التليفزيونية، وهو ما كان سيثير استياء أينشتاين.»[1]

يعد أينشتاين واحدًا من أعظم العلماء في تاريخ البشرية كلها، وإسهاماته تجعله قامة علمية كبيرة تطاول إسحق نيوتن. لم يكن من المستغرب أن تختاره مجلة تايم رجل القرن الماضي، بل إن كثيرًا من المؤرخين عدوه واحدًا من مائة شخصية هي الأكثر تأثيرًا في الألفية المنقضية.

ولهذه المكانة التاريخية، هناك أسباب كثيرة تدفعنا لإعادة اكتشاف قصة حياته. أول هذه الأسباب أن نظرياته من العمق والتبصر بمكان حتى إن التنبؤات التي تكهن بها منذ عقود لا تزال تتصدر عناوين الصحف، ولهذا فمن المهم أن نحاول فهم جذور هذه النظريات. ومع ظهور تقنيات وأجهزة لم تكن موجودة في عشرينيات القرن الماضي (كالأقمار الصناعية

والليزر وأجهزة الكمبيوتر الفائقة وتكنولوجيا النانو وأجهزة رصد أمواج الجاذبية) قادرةً على سبر أغوار أقاصي الكون والغوص في أعماق الذرة، تحصد تنبؤات أينشتاين جوائز نوبل لمصلحة علماء آخرين؛ فحتى فتات مائدة أينشتاين صارت اليوم تفتح آفاقًا جديدة للعلم. ومثال على هذا جائزة نوبل عام ١٩٩٣ التي ذهبت لاثنين من الفيزيائيين اللذين أثبتا بصورة غير مباشرة عن طريق تحليل حركة النجوم النيوترونية المزدوجة في السماء وجود أمواج الجاذبية التي تنبأ أينشتاين بوجودها عام ١٩١٦. وأيضًا جائزة نوبل لعام ٢٠٠١ التي فاز بها ثلاثة فيزيائيين بعدما أكدوا وجود ما يسمى بمُكَثَّفَاتِ بوس-أينشتاين، وهى حالة فيزيائية جديدة توجد قرب الصفر المطلق كان أينشتاين قد تنبأ بها عام ١٩٢٤.

ويومًا بعد يوم لا يزال كثير من تلك التنبؤات يتأكد؛ فالثقوب السوداء، التي اعتبرت يومًا ما جانبًا غريبًا من جوانب نظرية أينشتاين، رُصِدَت الآن بالفعل عن طريق التليسكوب الفضائي هابل، والتلسكوب اللاسلكي المعروف باسم المجموعة الضخمة جدًّا. وكذلك تم تأكيد وجود الحلقات والعدسات التي تنبأ بها أينشتاين، وصارت أيضًا اليوم أدوات أساسية يستخدمها الفلكيون في قياس الأجرام السماوية التي لا تُرى بالعين المجردة.

وحتى «أخطاء» أينشتاين صارت تعد اليوم إسهامات كبيرة في معرفتنا بالكون. ففي عام ٢٠٠١، وجد الفلكيون دليلًا قويًّا يؤكد أن «الثابت الكوني»، الذي اعتقد أنه هفوة أينشتاين الكبرى، يحتوي في الحقيقة على أكبر تركيز للطاقة في الكون، وأنه سوف يحدد المصير النهائي للنظام الكوني نفسه. ولهذا فمن الناحية التجريبية، صار هناك «إحياء» لإرث أينشتاين، بعد أن تراكمت أدلة كثيرة على صدق توقعاته.

ثاني الأسباب التي تدفعنا لمراجعة قصة حياة هذا الرجل أن الفيزيائيين اليوم عاكفون على إعادة تقييم ما تركه لنا وخاصة طريقته في التفكير. وفي حين اهتمت المؤلفات الحديثة التي تناولت سيرته بالتفتيش في دقائق حياته الخاصة عن دلائل قد تشير إلى الأصول التي استقى منها نظرياته، يتزايد اقتناع الفيزيائيين اليوم بأن نظريات أينشتاين لم تقم على حسابات معقدة (ناهيك عن حياته العاطفية) بقدر ما قامت على صور فيزيائية

بسيطة ومحكمة. وقد كان رأي أينشتاين دائمًا أن أي نظرية جديدة لا تقوم على صورة فيزيائية على قدر من البساطة بحيث يمكن لطفل صغير أن يفهمها، فهي على الأرجح غير ذات قيمة.

ولهذا فإننا في هذا الكتاب سوف نستخدم هذه الصور التي هي نتاج لخيال أينشتاين العلمي كمرجع أساسي نصف من خلاله أعظم إنجازاته العلمية ومنهجه في التفكير.

يتناول الجزء الأول من الكتاب الصورة التي تخيلها أينشتاين أول مرة عندما كان في السادسة عشرة من عمره: كيف يمكن أن يبدو شعاع الضوء إذا استطاع العَدْو بجواره. وهى الصورة التي كان قد استلهمها من أحد كتب الأطفال التي قرأها، وعن طريقها استطاع أن يحل لغز التناقض الجوهري بين اثنتين من أهم نظريات الزمن، وهما نظرية القوى لنيوتن، ونظرية المجالات والضوء لماكسويل. وخلال بحثه في هذا الأمر، كان يدرك أن واحدة من هاتين النظريتين العظيمتين لا بد أن تسقط، وهو ما حدث بعد ذلك لنظرية نيوتن. والواقع أننا بشكل أو بآخر نجد أن النسبية الخاصة بأكملها (وهى النظرية التي كشفت أسرار النجوم والطاقة النووية) مضمنة في هذه الصورة.

أما الجزء الثاني فيتعرض لصورة أخرى، وفيها تخيل أينشتاين الكواكب كأحجار مرمرية تتدحرج فوق سطح منحنى متمركز في قلب الشمس، في محاولة منه لتفسير فكرة أن الجاذبية تنبع من انحناء المكان والزمان. وباستبداله لانحناء السطح الأملس بقوى نيوتن، استطاع أينشتاين أن يخرج بتصور مبدع وجديد تمامًا للجاذبية. وفي هذا التصور الجديد، اعتبر «قوى» نيوتن وهمًا سببه انحناء المكان نفسه. وهذه الصورة البسيطة سوف تمنحنا في النهاية الثقوب السوداء، ونظرية الانفجار العظيم، بل المصير النهائي للكون نفسه.

أما الجزء الثالث فلا يتناول أي صور، بل يركز بشكل أكبر على فشل أينشتاين في الخروج بتصور يؤدي لـ«نظرية المجال الموحد» الخاصة به، وهو التصور الذي كان سيمكن أينشتاين من تتويج الأبحاث المتعلقة بقوانين المادة والطاقة التي امتدت لألفي عام. وقتها بدأ حدس أينشتاين يتداعى،

لأنه في تلك السنين كانت المعرفة بالقوى التي تحكم النواة والجزيئات دون الذرية شبه معدومة.

غير أن نظريته الناقصة وبحثه الدءوب الذي استمر ثلاثين عامًا عن «نظرية كل شيء» لا يعدان أبدًا فشلًا، مع أن هذا لم يتضح إلا في السنين الأخيرة. كان معاصروه يرون أنه يطارد وهمًا، حتى إن أبراهام بايس الفيزيائي ومؤرخ سيرة أينشتاين كتب عن هذا متحسرًا: «لقد ظل في الثلاثين سنة الأخيرة نشيطًا في البحث، ولو أنه قضاها في الصيد بدلًا من ذلك، لم تكن شهرته لتخفت، بل كانت ستزداد.»[٢] والمقصود بهذا أن إرثه كان سيزداد عظمة إذا قرر اعتزال الفيزياء عام ١٩٢٥ بدلًا من عام ١٩٥٥.

ولكن بظهور نظرية جديدة أطلق عليها «نظرية الأوتار الفائقة» أو نظرية إم في العقد الماضي، أخذ الفيزيائيون في إعادة تقييم أعمال أينشتاين الأخيرة وإرثه ككل، حيث صار البحث عن نظرية المجال الموحد التي افترضها مصب اهتمام الفيزيائيين، وصار التسابق لاكتشاف «نظرية كل شيء» هو الشغل الشاغل لجيل جديد من العلماء الشباب الطموحين، وغدت نظرية التوحيد اليوم الفكرة المسيطرة على الفيزياء النظرية بعد أن كان يعتقد أن إقرارها يعد بمثابة النهاية للحياة العملية للفيزيائيين القدامى.

وآمل أن ألقي من خلال هذا الكتاب نظرة جديدة مختلفة على أعمال أينشتاين الرائدة، وربما أن أقدم وصفًا أكثر دقة للإرث الذي خلفه لنا من المنظور البعيد للصور الفيزيائية البسيطة. وهذه الأفكار والرؤى هي التي عززت الجيل الحالي من التجارب الجديدة المبتكرة التي تجرى في الفضاء الخارجي وفي معامل فيزيائية متقدمة، وهي التي تدفع البحث المحموم ليحقق أمله الأثير، وهو إيجاد «نظرية كل شيء». وإنني لأظن أن هذا هو المسلك الذي كان سيفضله لتناول حياته وأعماله.

شكر وتقدير

أقدم جزيل امتناني للحفاوة التي لقيتها من طاقم عمل مكتبة جامعة برينستون التي أجريت بها شطرًا من البحث اللازم لإعداد هذا الكتاب. وتحتوي هذه المكتبة على نسخ لجميع مخطوطات أينشتاين ومواده الأصلية. كما أشكر أيضًا الأساتذة في بي ناير ودانييل جرينبيرجر من سيتي كوليدج بنيويورك اللذين قرآ المخطوطة الأولى للكتاب وأبديا تعليقات مهمة ومفيدة. واستفدت أيضًا كثيرًا من حديثي مع فريد جيروم الذي حصل على ملف أينشتاين لدى مكتب التحقيقات الفيدرالية وهو ملف ضخم. وإنني ممتن أيضًا لكل من إدوين باربر لدعمه وتشجيعه لي، وجيسي كوهين لما أبداه من تعليقات وما أجراه من تغييرات فيما يتعلق بتحرير نص الكتاب الذي أكسبه قوة وتركيزًا، وإنني مدين أيضًا بالكثير والكثير لستيوارت كريكفسكي الذي استمر لسنوات طويلة راعيًا للعديد من كتبي العلمية.

١

الجزء الأول

الصورة الأولى: التسابق مع شعاع الضوء



الفصل الأول

الفيزياء قبل أينشتاين

ذات مرة طلب أحد الصحفيين من ألبرت أينشتاين، أعظم عباقرة العلم منذ إسحق نيوتن، أن يشرح له معادلته الخاصة للنجاح. تأمل المفكر العظيم قليلًا ثم أجابه: «إذا كان أ يرمز للنجاح، فإن المعادلة يجب أن تكون على النحو الآتي: أ = س + ص + ع، حيث يرمز حرف س إلى العمل، وحرف ص إلى اللعب.»[1]

سأله الصحفي عما يرمز إليه حرف ع.

فأجابه أينشتاين: «إلى إغلاق فمك.»

إن ما أحبه الناس في أينشتاين، سواءً كانوا فيزيائيين أو ملوكًا أو من العامة، ما كان يتحلى به من إنسانية وسخاء وسرعة بديهة، سواءً حين كان ينادي بالسلام العالمي أو يسبر أغوار خفايا الكون.

وحتى الأطفال كانوا يهرعون لرؤية ذلك الفيزيائي الهرم وهو يجوب طرقات برينستون، وكان يكافئهم على حفاوتهم تلك بأن يحرك لهم أذنيه. وكان أينشتاين يحب أن يتجاذب أطراف الحديث مع طفل في الخامسة اعتاد أن يرافق المفكر العظيم في سيره إلى معهد الدراسات المتقدمة، وذات مرة أثناء سيرهما المتأني، انفجر أينشتاين ضحكًا. وعندما سألت أم الصبي ابنها عما كانا يتحدثان فيه أجابها: «سألته هل ذهب إلى الحمام اليوم». ولما رأى أينشتاين المرأة في قمة الحرج قال لها: «إنني سعيد بأن هناك من يسألني سؤالًا أستطيع الإجابة عليه.»

وكما قال الفيزيائي جيريمي بيرنشتاين ذات مرة: «ما من أحد تعامل مع أينشتاين بشكل شخصي إلا وغمره نبل هذا الرجل. وما انفك الناس يصفونه بالإنسانية ... تلك الصفة البسيطة المحببة التي تميز شخصيته.»[٢]

وبقدر ما كان أينشتاين دمث الخلق مع الناس بمختلف أطيافهم لا فرق إن كانوا ملوكًا أو أطفالًا أو حتى شحاذين، كان أيضًا شديد العرفان لأسلافه رواد العلم. فمع أن العلماء، مثلهم مثل كل المبدعين، قد تتملكهم الغيرة من منافسيهم التي غالبًا ما تدفعهم للانغماس في صراعات عقيمة، إلا أن أينشتاين لم يستنكف عن أن ينسب جذور أفكاره الرائدة إلى فيزيائيين عظماء مثل إسحق نيوتن وجيمس كليرك ماكسويل، اللذين وضع صورهما في أماكن بارزة على مكتبه وجدران غرفته. والواقع أن أبحاث نيوتن في الميكانيكا والجاذبية وأبحاث ماكسويل في الضوء شكلت الدعامات الرئيسية التي ارتكزت عليها العلوم في مطلع القرن العشرين، بل إن إنجازاتهما كانت تمثل جل المعرفة الفيزيائية في ذلك الوقت.

إن من السهل نسيان أنه قبل نيوتن، لم يكن هناك تفسير لحركة الأجسام على الأرض أو للأجرام في السماء، وأن الكثيرين كانوا يظنون أن مصائر البشر معلقة بأيدي الأرواح والشياطين. وقتها انتشر السحر والشعوذة والخرافات وكانت هي المواضيع المعتادة للنقاشات المحتدمة حتى في أعرق مراكز التعليم الأوروبية، ولم يكن للعلم الذي نعرفه اليوم أي وجود.

وقد جاء في كتابات الفلاسفة الإغريق وعلماء اللاهوت المسيحيين أن الأجسام تتحرك بدافع من مشاعر ورغبات تشبه مشاعر ورغبات البشر، وكان أتباع أرسطو يرون أن الأجسام المتحركة لا بد لها في النهاية أن تبطئ سرعتها ثم تتوقف لأن «الإرهاق» يتملكها، وأن الأجسام تهوي إلى الأسفل لأنها «تشتاق» للتوحد مع الأرض.

غير أن الرجل الذي نظم هذه الفوضى الروحانية كان إلى حد ما على النقيض من أينشتاين في شخصيته وطباعه؛ فأينشتاين كان لا يبخل أبدًا بوقته على الآخرين ومياّلًا للدعابات المرحة مع الصحفيين، أما نيوتن فاشتهر بانعزاله، وأن به مسًّا من جنون العظمة. كان شديد الشك في الآخرين،

وخاض صراعات كثيرة وطويلة مع علماء آخرين حول أفضليته عليهم. واشتهر أيضًا بميله الشديد للصمت حتى إنه حين كان عضوًا في البرلمان البريطاني، فيما بين عامي ١٦٨٩ و١٦٩٠، لم يسجل له أنه تكلم في حضرة المجلس الموقر إلا مرة واحدة حين أحس بتيار هواء بارد فطلب من الحاجب أن يغلق النافذة. ويذكر ريتشارد إس ويستفول مؤرخ السير أن نيوتن كان: «رجلًا معذبًا ذا شخصية عصابية تتأرجح على حافة الانهيار، خاصة حينما أصبح في منتصف العمر.»[٢]

ولكن في ميدان العلم، كان نيوتن وأينشتاين أستاذين بحق، واشتركا في العديد من الصفات الأساسية؛ فكلاهما كان يستطيع الاستغراق في التفكير العميق لأسابيع وشهور لدرجة الانهيار الجسدي، وكلاهما امتلك القدرة على تخيل خفايا الكون في صورة بسيطة.

وفي عام ١٦٦٦، حين كان نيوتن في الثالثة والعشرين من عمره، نجح في أن يطرد الأرواح التي سكنت عالم أرسطو بأن قدم ميكانيكا جديدة تقوم على «القوى». ووضع نيوتن ثلاثة قوانين للحركة تنص على أن الأجسام تتحرك لأنها تُدْفَع أو تُسْحَب بواسطة قوى يمكن قياسها بدقة والتعبير عنها في معادلات بسيطة. فبدلًا من التفكير في رغبات الأجسام عند حركتها، استطاع نيوتن أن يحدد مسارات كل الأشياء بدءًا من أوراق الأشجار المتساقطة إلى الصواريخ التي تحلق في الجو إلى قذائف المدافع وحتى السحب، عن طريق حساب محصلة القوى التي تؤثر عليها. ولم تكن تلك مجرد مسألة أكاديمية فحسب؛ فهي قد ساعدت في وضع أساس الثورة الصناعية، حيث سَيَّرت قوة المحركات البخارية قاطرات وسفنًا عملاقة مما أسس إمبراطوريات جديدة. وغدا من السهل بناء الجسور والسدود وناطحات السحاب بكل ثقة، بعد أن صار بالإمكان حساب الضغط الواقع على كل قرميدة وكل دعامة. وكان انتصار نظرية القوى لنيوتن مدويًّا وجلب له التكريم والشرف في حياته، حتى إن الشاعر الإنجليزي ألكسندر بوب نظم فيه هذين البيتين:

لطالما توارت الطبيعة بقوانينها في ظلمة الليل،
لكن الرب شاء أن يخلق نيوتن فانبلج الضياء ...

وقد طبق نيوتن نظرية القوى على الكون نفسه باقتراح نظرية جديدة للجاذبية. ولهذه النظرية قصة لم يكن نيوتن يملّ من سردها، فبعد أن عاد نيوتن إلى منزل عائلته في وولثروب بلنكولنشاير بعد ما أرغم الطاعون جامعة كامبردج على أن تغلق أبوابها، حدث ذات يوم أن رأى تفاحة تسقط من شجرة فسأل نفسه السؤال الحاسم: إذا كانت التفاحة تسقط من الشجرة، ألا يمكن أن يسقط القمر من السماء؟ وهل يمكن أن تكون قوة الجاذبية المؤثرة على التفاحة في الأرض هي ذاتها التي تتحكم في حركة الأجرام السماوية؟ كان هذا الكلام يعتبر من ضروب الهرطقة، لأنه وفقًا للفكر السائد وقتها، كان يفترض بالكواكب أن تتمركز في أماكن ثابتة تخضع للقوانين السماوية المحكمة خضوعًا تامًّا، على خلاف قوانين الخطأ ثم التوبة التي تحكم الإنس الآثمين.

وفي لحظة تجلٍّ، أدرك نيوتن أنه يستطيع الجمع بين الفيزياء الأرضية والفيزياء السماوية في صورة واحدة؛ فالقوة التي جذبت التفاحة إلى الأرض لا بد أن تكون هي ذاتها التي وصلت إلى القمر وحددت مساره. وقد أخذته الصدفة إلى رؤية جديدة للجاذبية. لقد تخيل نفسه جالسًا على قمة جبل يرمي بحجر، وفكر أنه كلما زادت السرعة التي يرمي بها الحجر، وصل الحجر إلى مكان أبعد. ولكنه عندئذ قفز القفزة الحاسمة: ماذا سيحدث إذا قذف الحجر بسرعة كبيرة جدًّا بحيث لا يسقط على الأرض؟ ثم أدرك أن ذاك الحجر، الذي يقع باستمرار في مجال الجاذبية الأرضية، لن يقع على الأرض، بل سيدور حولها، إلى أن يرجع في النهاية إلى صاحبه فيضربه في مؤخرة رأسه. ثم طبق نيوتن هذه الرؤية الجديدة على القمر بدلًا من الحجر، ورأى أنه في حالة سقوط مستمرة لكنه لا يسقط أبدًا على الأرض لأنه، تمامًا كالحجر، يدور حول الأرض في فلك دائري. أي أن القمر لا يستقر في موقع سماوي ثابت، كما كان رجال الكنيسة يظنون، بل هو كالتفاحة والحجر في حالة دائمة من السقوط الحر بفعل قوة الجاذبية الأرضية. وكان هذا أول تفسير لحركة المجموعة الشمسية.

وبعد ذلك بنحو عقدين، وتحديدًا عام ١٦٨٢، عم الذعر والدهشة أهل لندن بسبب مذنب لامع لاح في سماء المدينة وأضاء ليلها. تتبع نيوتن حركة

هذا المذنب بدقة عن طريق تليسكوب عاكس (وهو واحد من اختراعاته)، ووجد أن حركته تتوافق مع معادلاته توافقًا تامًّا إذا افترض أنه يسقط سقوطًا حرًّا متأثرًا بالجاذبية الأرضية. وبمعونة الفلكي الهاوي إدموند هالي، استطاع التنبؤ بدقة بموعد عودة ذلك المذنب إلى الأرض، (الذي عرف فيما بعد بمذنب هالي)، وكانت هذه هي المرة الأولى التي يُتَنبأ فيها بحركة المذنبات. وقوانين الجاذبية التي استخدمها نيوتن لحساب حركة مذنب هالي وحركة القمر هي ذاتها التي تستخدمها وكالة ناسا اليوم في توجيه مجساتها الفضائية بأعلى مستوى من الدقة في أماكن تتجاوز كوكبي أورانوس ونبتون.

كان نيوتن يرى أن تلك القوى لها تأثير فوري على الأجسام. مثلًا، اعتقد نيوتن أنه لو اختفت الشمس فجأة، فسوف تخرج الأرض على الفور من مدارها وتتجمد في غياهب الفضاء. وسوف يعلم كل من في الكون أن الشمس قد اختفت في نفس اللحظة تمامًا. وهكذا فإنه من الممكن أن يضبط كل سكان الأرض ساعاتهم بحيث تدق في نفس الوقت في أي مكان في الكون؛ فالثانية على الأرض بذات طول الثانية على المريخ أو المشتري. والمكان مطلق كالزمان؛ فالمتر على الأرض بذات طول المتر على المريخ أو المشتري أيضًا؛ فالأمتار لا تطول أو تقصر في أي مكان في الكون، إذن فالثواني والأمتار تتطابق أينما ارتحلنا في الفضاء.

ومما سبق نرى أن نيوتن بنى أفكاره على المفهوم المنطقي الذي ينص على «إطلاق الزمان والمكان». وقد اعتبر نيوتن أن الزمان والمكان يمثلان مرجعية مطلقة نستطيع أن نحكم عن طريقها على حركة كافة الأجسام. فمثلًا إذا كنا على متن قطار، فإننا نعتقد أن القطار يتحرك والأرض ثابتة. لكننا إذا نظرنا إلى مشهد الأشجار تمر أمام نوافذ القطار قد يهيأ لنا أن القطار ثابت والأشجار هي التي تتحرك. ولأن كل ما في القطار يبدو ثابتًا، فقد نحتار أيهما يتحرك بالفعل الأشجار أم القطار؟ رأى نيوتن أن تلك المرجعية المطلقة قادرة على الإجابة عن هذا السؤال.

وقد ظلت قوانين نيوتن أساس علم الفيزياء لنحو قرنين من الزمان. لكن بظهور اختراعات جديدة كالتلغراف والمصباح الكهربي غيرت شكل الحياة في المدن الأوروبية في أواخر القرن التاسع عشر، جاءت دراسة الكهرباء

بمفهوم جديد تمامًا في العلم. وقد وضع الفيزيائي الاسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل بجامعة كامبريدج في ستينيات القرن التاسع عشر نظرية للضوء تفسر القوى الكهربية والمغناطيسية الغامضة، ولم ترتكز هذه النظرية على مفهوم القوى الذي وضعه نيوتن بل على مفهوم جديد عرف باسم «المجالات». وقد كتب أينشتاين عن مفهوم المجالات قائلًا: «إنه أكثر المفاهيم التي عرفتها الفيزياء عمقًا ونفعًا منذ عهد نيوتن.»[٤]

ويمكن تصور هذه المجالات عن طريق نثر برادة الحديد على قطعة من الورق، ثم نضع مغناطيسًا تحت الورقة، وحينها سنجد برادة الحديد تتوزع فيما يشبه السحر في نمط يشبه شبكة عنكبوت ذات خطوط تمتد من القطب الشمالي للمغناطيس إلى قطبه الجنوبي. وهذا يعني أن هناك مجالًا مغناطيسيًّا يحيط بأي مغناطيس، وهو عبارة عن مجموعة غير مرئية من خطوط القوة تتخلل الفضاء برمته.

والكهرباء أيضًا تصنع مجالات. ففي المعارض العلمية، يضحك الأطفال حين تنتصب شعورهم عندما يلمسون مصدرًا للكهرباء الساكنة. والسبب وراء انتصاب شعورهم أنها تنتظم على شكل خطوط المجالات الكهربائية غير المرئية المنبعثة من ذلك المصدر.

غير أن هذه المجالات تختلف تمامًا عن القوى التي ذكرها نيوتن. فالقوى حسب كلام نيوتن يكون تأثيرها فوريًّا في الفضاء، ولهذا فإن حدث خلل في جزء من أجزاء الكون يلاحظ على الفور في جميع أجزائه. لكن ماكسويل لاحظ بعبقرية أن التأثيرات الكهربية والمغناطيسية لا تنتقل فوريًّا، كقوى نيوتن، بل تستغرق وقتًا وتتحرك بسرعة محددة. وقد كتب مارتن جولدمان المؤرخ لسيرة ماكسويل قائلًا: «إن فكرة زمن التأثير المغناطيسي ... بدت كما لو أنها برزت لماكسويل فجأة.»[٥] على سبيل المثال، بيّن ماكسويل أننا إذا هززنا المغناطيس، فسوف تستغرق البرادة المحيطة به زمنًا قبل أن تتحرك.

تخيل شبكة عنكبوت تهتز في الريح. إذا هزت الريح جزءًا من أجزاء الشبكة فسوف تسبب تموجًا لا يلبث أن يسري في الشبكة بأسرها؛ فالمجالات وشباك العناكب، على خلاف القوى، تسمح بالذبذبات التي تنتقل بسرعة محددة. وبناءً على هذا شرع ماكسويل في حساب سرعة هذه التأثيرات

المغناطيسية والكهربية. وفي واحدة من أعظم الإنجازات المبدعة في القرن التاسع عشر، استخدم هذه الفكرة لحل لغز الضوء.

كان ماكسويل يعلم من خلال الأبحاث السابقة لمايكل فاراداي وآخرين أن المجال المغناطيسي المتحرك قادر على خلق مجال كهربي، والعكس صحيح. والمولدات والمحركات التي تمد عالمنا بالكهرباء هي نتاج مباشر لهذه العلاقة التبادلية. (تستخدم هذه العملية في إضاءة منازلنا، فالمياه الساقطة من السدود تدير عجلة كبيرة، وهذه العجلة تدير مغناطيسًا. ثم يدفع المجال المغناطيسي المتحرك الإلكترونات في كابل، فتنتقل الإلكترونات خلال أحد كابلات الضغط العالي إلى المقابس الموضوعة في جدران غرف منازلنا. ومثال آخر هو المكنسة الكهربائية التي تتدفق فيها الكهرباء من المقبس كي تصنع مجالًا مغناطيسيًّا يدفع شفرات المحرك إلى الدوران).

وتجلت عبقرية ماكسويل في أنه جمع بين التأثيرين. فإذا كان المجال المغناطيسي المتغير قادرًا على خلق مجال كهربائي والعكس صحيح، فربما كانا معًا قادرين على تكوين حركة دورية، تتكون من مجالات كهربية ومجالات مغناطيسية يغذي أحدهما الآخر ويتحول أحدهما إلى الآخر. وسرعان ما أدرك ماكسويل أن هذا النمط الدوري سوف يخلق سلسلة من المجالات الكهربية والمغناطيسية، تتذبذب جميعها في انسجام وتناغم، ويتحول كل منهما إلى الآخر في موجة سرمدية، ثم حسب سرعة هذه الموجة.

وكانت دهشة ماكسويل عظيمة حين اكتشف أن تلك السرعة هي سرعة الضوء، بل إنه قد أكد أيضًا في تصريح ربما يكون الأجرأ في القرن التاسع عشر أن هذه الموجة هي ذاتها الضوء، وبعدها قال لزملائه إن: «النتيجة شبه الأكيدة أن الضوء يتكون من موجات مستعرضة من ذات الوسيط، وهذا يسبب الظاهرة الكهربية والمغناطيسية.»[٦] وبعد التفكير العميق في طبيعة الضوء لألف سنة، أدرك العلماء أخيرًا أدق أسراره. فعلى النقيض من قوى نيوتن فورية التأثير، تنتقل هذه المجالات بسرعة محددة هي سرعة الضوء.

جُمِّعت أبحاث ماكسويل في ثمان معادلات تفاضلية جزئية صعبة (تعرف باسم «معادلات ماكسويل»)، وهي المعادلات التي صار واجبًا على

أي مهندس كهرباء وأي فيزيائي عاش في المائة وخمسين عامًا الماضية أن يحفظها عن ظهر قلب. (واليوم صارت هناك تي شيرتات تباع في الأسواق كتبت عليها المعادلات الثماني كلها، تسبقها عبارة: «في البداية قال الرب ...» وتعقبها عبارة «... ثم انبلج الضياء.»)

وبنهاية القرن التاسع عشر، بدت نجاحات تجارب ماكسويل ونيوتن من العظمة بمكان أن أكد بعض الفيزيائيين بثقة أن هذين العالمين قد أجابا عن جميع أسئلة الكون الكبرى. وعندما طلب ماكس بلانك (واضع نظرية الكم) رأي مستشاره في رغبته في أن يصبح عالم فيزياء، أجابه بأن يبحث عن مجال آخر لأن مجال الفيزياء قد انتهى البحث فيه تقريبًا، وأنه لم يعد به جديد يمكن أن يكتشف. وكان ممن آمنوا بهذا أيضًا اللورد كيلفن الفيزيائي الكبير الذي عاش في القرن التاسع عشر، والذي صرح بأن علم الفيزياء قد اكتمل تقريبًا ولم تعد به إلا «سحابات» قليلة غير ذات أهمية كبرى تلوح في الأفق دون تفسير لها.

لكن القصور في رؤى نيوتن أخذ في الاتضاح عامًا تلو الآخر. فاكتشافات كالتي حققتها ماري كوري بعزلها للراديوم ونشاطه الإشعاعي كانت تهز المجتمع العلمي وتجذب انتباه العامة؛ إذ اكتشفت كوري أن أوقيات قليلة من تلك المادة النادرة المشعة تكفي لإضاءة غرفة مظلمة، وأظهرت أيضًا أن هناك إمكانية لانبعاث كميات غير محدودة من الطاقة من مصدر مجهول داخل الذرة، وهذا يتعارض مع قانون بقاء الطاقة الذي ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم. أما عن تلك «السحابات» الصغيرة فسوف تتمخض عنها فيما بعد الثورتان العلميتان الكبيرتان في القرن العشرين؛ نظرية النسبية ونظرية الكم.

غير أن الأمر الذي كان مدعاة لكثير من الحيرة أن جميع الجهود التي حاولت دمج ميكانيكا نيوتن مع نظرية ماكسويل باءت بالفشل. إن نظرية ماكسويل أكدت على حقيقة أن الضوء موجة، لكنها فتحت الباب لسؤال آخر: ما الذي يتموج بالضبط؟ كان العلماء يدركون أن الضوء يمكن أن ينتقل في الفراغ (بل إن الضوء المنبعث من النجوم السحيقة قد يسافر ملايين السنين الضوئية في فراغ الفضاء الخارجي)، لكن إذا كان الفراغ

يعرف بطبيعته بأنه «العدم»، فقد صارت النظرية متناقضة لأنه لا يوجد في العدم ما يتموج!

حاول أتباع نيوتن أن يجيبوا على هذا السؤال بافتراض أن الضوء يتكون من موجات تتذبذب في «أثير» غير مرئي عبارة عن غاز ساكن يملأ الكون. وهذا الأثير يُفْتَرَض فيه أن يكون المرجعية أو المعيار المطلق الذي تُقاس عليه جميع السرعات. وقد يقول متشكك إنه إذا كانت الأرض تدور حول الشمس، والشمس تدور حول المجرة، فإنه يكون من المستحيل أن نجزم بتحديد المتحرك والساكن. ولكن أتباع نيوتن ردوا على ذلك بأن المجموعة الشمسية هي المتحركة بالنسبة إلى الأثير الساكن، وبهذا تم التحديد.

ولكن شيئًا فشيئًا بدأت تظهر للأثير خصائص غريبة هي إلى السحر أقرب. فمثلًا علم الفيزيائيون أن الموجات تنتقل بشكل أسرع في الوسائط الأكثر كثافة. ولهذا فالذبذبات الصوتية تنتقل في الماء أسرع منها في الهواء. لكن إذا كان الضوء ينتقل بسرعة مذهلة (١٨٦٠٠٠ ميل في الثانية)، فهذا يعني أن الأثير لا بد أنه على درجة كبيرة من الكثافة حتى يستطيع الضوء أن ينتقل فيه. ولكن كيف يمكن هذا إذا كان من المفترض أن الأثير أخف من الهواء؟ وبمرور الوقت ازداد غموض هذه المادة أكثر وأكثر: فهي مادة ساكنة تمامًا، وعديمة الوزن، وغير مرئية، ومنعدمة اللزوجة، لكنها مع ذلك أقوى من الفولاذ وغير قابلة للرصد بأي آلة معروفة.

وبحلول عام ١٩٠٠، ازدادت صعوبة تفسير القصور في ميكانيكا نيوتن، وغدا العالم جاهزًا لثورة، ولكن من يقودها يا ترى؟ فمع أن هناك من العلماء من كانوا عالمين بما في نظرية الأثير من خلل، فإنهم حاولوا على استحياء أن يستروا هذا الخلل بالاستعانة بقوانين نيوتن. لكن أينشتاين الذي لم يكن لديه ما يخسره اجترأ على أن يجهر بأساس المشكلة وهي أن: قوى نيوتن ومجالات ماكسويل لا تتسقان، لذا فعلى إحدى دعامتي العلم أن تسقط. وعندما سقطت إحداهما في النهاية بالفعل، سقط معها أكثر من قرنين من عمر الفيزياء، ونتج عن هذا أن تغيرت نظرتنا للكون وللواقع نفسه. واستطاع أينشتاين أن يسقط فيزياء نيوتن بصورة في غاية البساطة لا يستعصي فهمها على طفل صغير.

الفصل الثاني

السنوات الأولى

ولد ذلك الرجل، الذي غير من رؤيتنا للكون بأسره، في ١٤ من شهر مارس/آذار عام ١٨٧٩، في بلدة ألمانية صغيرة تدعى أولم. ولدى مولده ارتاع والداه هيرمان وبولين كوخ أينشتاين عندما رأيا رأس وليدهما غير مستوية، وابتهلا إلى الله ألا يكون لهذا تأثير على عقله.

كان والدا أينشتاين يهوديين علمانيين ينتميان إلى الطبقة الوسطى ويكافحان لتوفير حياة كريمة لأسرتهما الآخذة في النمو. كانت بولين ابنة لتاجر ثري نسبيًّا يدعى يوليوس ديرزباخر (وهو الاسم الذي غيره فيما بعد إلى كوخ)، وكان قد جنى ثروته بعد أن غير حرفته وتحول من خباز إلى تاجر حبوب. كانت بولين مثقفة العائلة، وأصرت على أن يتعلم أبناؤها الموسيقى منذ صغرهم، وهو الأمر الذي نتج عنه عشق أينشتاين لآلة الكمان منذ طفولته. أما عن هيرمان أينشتاين فقد كان، على عكس حميه، عاثر الحظ في عمله، فبعد أن بدأ كتاجر لحشايا الأسرّة المحشوة بالريش، نصحه أخوه ياكوب بأن يتحول إلى صناعة الكهروكيماويات الجديدة. كانت اختراعات فاراداي وماكسويل وتوماس إديسون التي تستخدم الكهرباء تضيء مدنًا كثيرة في جميع أنحاء العالم، ورأى هيرمان أمامه مستقبلًا واعدًا في صناعة المولدات والمصابيح الكهربية. لكن الحظ لم يحالفه وفشل المشروع وأدى به ذلك إلى أزمات مالية متوالية أفلسته أكثر من مرة وأجبرت العائلة على الانتقال كثيرًا خلال طفولة ألبرت، ومن الأماكن التي انتقلوا إليها مدينة ميونيخ التي أتوها بعد عام واحد من مولده.

تأخر أينشتاين الصغير في تعلم الكلام حتى إن والديه خشيا أن تكون لديه إعاقة ذهنية. لكنه حين نطق أخيرًا، كان كلامه جملًا كاملة. لكن مع هذا ظل لا يتحدث جيدًا حتى التاسعة من عمره. ولم يكن له إلا شقيقة واحدة اسمها مايا تصغره بعامين. (وفي الأيام الأولى لمولدها أثار قدومها دهشة ألبرت الصغير، وكانت من أولى العبارات التي تفوه بها سؤاله: «ولكن أين عجلاتها؟»). غير أن كونها الأخت الصغرى لألبرت لم يكن بالأمر الممتع؛ فقد كانت له عادة سيئة وهي إلقاء الأشياء على رأسها. وكما قالت هي بعد ذلك: «لا بد لأخت المفكر أن تكون لها جمجمة قوية.»[١]

وعلى عكس الخرافة الشائعة، كان أينشتاين طالبًا نجيبًا في المدرسة، لكن فقط في المواد التي كان يهتم بها كالرياضيات والعلوم. وكان نظام التعليم الألماني يحث التلاميذ على الإجابة على الأسئلة بإجابات قصيرة قائمة على الحفظ والاستظهار وإلا عوقبوا بضرب مؤلم على مفاصل أصابعهم. لكن ألبرت الصغير كان يتكلم ببطء وتردد منتقيًا كلماته بعناية. كان يعاني تحت وطأة نظام تعليمي ديكتاتوري خانق يقمع الإبداع والقدرة على التخيل ويستبدل بهما اختبارات عقيمة تساعد على تغييب العقل، ولهذا كان أبعد ما يكون عن تحقيق التفوق في المدرسة. وعندما سأل والده مدير المدرسة عن المهنة التي تصلح في المستقبل لألبرت أجابه قائلًا: «لا تشغل بالك بهذا؛ فهو لن ينجح في أي شيء.»[٢]

وسرعان ما بدأت طباع أينشتاين تفصح عن نفسها مبكرًا. كان حالمًا، كثير الاستغراق في التفكير أو القراءة. وكان زملاؤه في المدرسة يصفونه باستمرار بكلمة «معقّد». يروي أحد زملائه عن ذلك قائلًا: «اعتبره بقية التلاميذ غريب الأطوار لأنه لم يكن يبدي أي اهتمام بالرياضة، واعتبره المدرسون غبيًّا لعدم قدرته على الاستظهار ولغرابة طباعه أيضًا.»[٣] وحين بلغ العاشرة من عمره التحق ألبرت بمدرسة لويتبولد في ميونيخ وفيها عانى الأمرين في تعلم اللغة اليونانية الكلاسيكية، وكان يكتفي أثناء تلقي دروسها بالجلوس على مقعده وعلى ثغره ابتسامة باهتة تخفي ملله. وحينما كان في الصف السابع حدث أن قال له معلم اللغة اليونانية السيد جوزيف ديجنهارت أنه سيكون من الأفضل ألا يحضر هذه الدروس. وعندما اعترض

أينشتاين مبينًا أنه لم يرتكب خطأ، رد عليه المدرس بغلظة قائلًا: «نعم هذا صحيح، لكنك دائمًا تجلس في الصف الخلفي مبتسمًا، وهذا يتنافى مع الاحترام المطلوب من التلاميذ لمعلمهم.»[٤]

وقد ظل أينشتاين لسنين طويلة يعاني الآثار التي تركها ذلك النظام التعليمي المستبد في نفسه وهو ما يتضح من قوله: «إنه لأشبه بالمعجزة أن نظم التعليم الحديثة لم تقضِ تمامًا على الفضول الحميد وحب الاستطلاع لدى الطلبة، فهما كالنبتة الصغيرة التي تحتاج إلى التحفيز ولا تستغني عن الحرية.»[٥]

بدأ اهتمام أينشتاين بالعلوم مبكرًا بتعرفه لأول مرة على المغناطيسية التي قال إنها كانت «أول معجزة» يشهدها. وكان والده قد أهداه بوصلة ففتنه بشدة أن هناك قوى خفية قادرة على تحريك الأجسام المادية. يتذكر أينشتاين هذه التجربة بحنين قائلًا: «تعرفت على تلك العجيبة وأنا في الرابعة أو الخامسة من عمري عندما أراني أبي إبرة البوصلة ... لا أزال أذكر ... أن هذه التجربة تركت أثرًا عميقًا ودائمًا في نفسي، وأدركت حينها أن هناك أمورًا خفية تتوارى خلف الظواهر.»[٦]

لكنه حين اقترب من الحادية عشرة من عمره، اتخذت حياته اتجاهًا غير متوقع إذ تحول إلى التدين الشديد. وكان هناك شخص تربطه به صلة قرابة بعيدة يزوره ليعلمه العقيدة اليهودية، والغريب أن ألبرت أقبل عليها بمنتهى الحماس وبشكل اقترب من التطرف، فقد امتنع عن أكل لحم الخنزير وألف مجموعة من الترانيم في مدح الله وكان ينشدها في طريقه إلى المدرسة. لكن فترة الحماس الديني تلك لم تدم طويلًا لأنه كان كلما تعمق في الدين، أدرك تعارضه مع العلم، حيث تنافي الكثير من المعجزات المذكورة في النصوص الدينية قوانين العلم. وفي النهاية وصل إلى نتيجة وصفها بقوله: «من خلال قراءتي وصلت سريعًا إلى قناعة بأن كثيرًا مما جاء في قصص التوراة لا يمكن أن يكون حقيقيًّا.»[٧]

وهكذا تخلى أينشتاين عن الدين بنفس السرعة التي اعتنقه بها، لكن مع هذا كان لتلك المرحلة الدينية من حياته أثر كبير على آرائه في مراحل لاحقة. ومثَّل ارتداده هذا الرفض الأول للسلطة الرافضة للتفكير، وهو أحد

العلامات المميزة لشخصيته طوال حياته. لم يعد أينشتاين يقبل رموز السلطة على أنهم القول الفصل. ومع أنه وصل في النهاية إلى أنه من غير الممكن التوفيق بين الدين والعلم، فإنه قد أقر أيضًا أن في الكون عوالم لا تدركها حدود العلم بكل بساطة، وأن المرء لا بد له أن يدرك إدراكًا عميقًا محدودية العلم والفكر الإنساني.

غير أن هذا الاهتمام المبكر بالبوصلات والعلم والدين كان سيذبل لو لم يجد ألبرت الصغير راعيًا ومرشدًا محبًّا يشحذ أفكاره. وكان هذا الراعي طالبًا بولنديًّا فقيرًا يدعى ماكس تلمود، كان يدرس الطب في ميونيخ عام ١٨٨٩، وكان معتادًا على تناول العشاء أسبوعيًّا في بيت أينشتاين. وكان هو من عرف أينشتاين على عجائب العلم بعيدًا عن منهج الاستظهار العقيم الذي انتهجته مدرسته. وبعد ذلك بسنوات، كتب تلمود بإعزاز قائلًا: «خلال كل تلك السنين لم أره أبدًا يقرأ كتابًا بسيط الأسلوب، أو يخرج برفقة زملاء دراسته أو ممن هم في مثل سنه. كانت الموسيقى شغفه الوحيد، وقد كان قادرًا على عزف مقطوعات موتسارت وبيتهوفن بمصاحبة أمه.»[٨] أعطى تلمود أينشتاين كتابًا في الهندسة واظب أينشتاين على قراءته ليل نهار، وسماه «المعجزة الثانية» بالنسبة له، وكتب يقول عنه: «عندما كنت في الثانية عشرة من عمري، شاهدت عجيبة أخرى ذات طبيعة مغايرة تمامًا عن سابقتها تتمثل في كتاب صغير عن الهندسة الإقليدية المستوية.»[٩] أطلق أينشتاين على هذا الكتاب اسم «كتاب الهندسة المقدس»، واعتبره توراته الجديدة.

وأخيرًا كان اتصال أينشتاين الأول بعالم الفكر المجرد؛ الذي من خلاله استطاع أن يستكشف حقائق الكون دون معامل أو معدات باهظة التكاليف، عالم لا يحده إلا قدرة العقل البشري. فقد لاحظت أخته مايا أنه صار يجد متعة دائمة في الرياضيات، وبالأخص في الألغاز والأحاجي الرياضية الصعبة. بل إنه كان يتفاخر على أخته لأنه وجد دليلًا جديدًا على صحة نظرية المثلث قائم الزاوية لفيثاغورث.

لكن قراءات أينشتاين في الرياضيات لم تتوقف عند هذا الحد؛ فقد استطاع بعد ذلك أن يعلم نفسه حساب التفاضل والتكامل مفاجئًا معلمه،

وهو ما يؤكده تلمود بقوله: «سرعان ما اتضحت عبقريته في الرياضيات حتى إنني لم أستطع أن أجاريه ... ومنذ ذلك الحين، صارت الفلسفة أكثر ما نتحدث فيه، ورشحت له أعمال الفيلسوف كانت.»[١٠] وكان لمعرفة أينشتاين الصغير بعالم إيمانويل كانت وكتابه «نقد العقل المجرد» أبرز الأثر في تغذية حبه للفلسفة الذي لم ينقطع طوال حياته. بدأ يتفكر في الأسئلة الأزلية التي طالما شغلت جميع الفلاسفة كأصول الأخلاق، ووجود الله، وطبيعة الحروب. كان كانت بالتحديد يشتهر بآرائه الصادمة التي تشكك حتى في وجود الله. كان يهزأ بعالم الفلسفة الكلاسيكية المتبجح الذي وصفه بقوله: «في معظمها كثير من الهراء»، (أو كما قال الخطيب الروماني الشهير شيشرون: «ليس هناك من السخافات ما لم يتفوه به الفلاسفة.» وكتب كانت أيضًا أن السبيل إلى إنهاء الحروب هو إيجاد حكومة واحدة للعالم بأسره، وهو المعتقد الذي اعتنقه أينشتاين بقية حياته. وفي فترة من فترات حياته، تأثر أينشتاين بأفكار كانت تأثرًا شديدًا حتى إنه فكر في أن يصير فيلسوفًا، لكن والده الذي أراد لابنه مهنة أكثر واقعية رفض ذلك «الهراء الفلسفي»[١١] على حد قوله.

وكان من حسن طالع أينشتاين أن والده يعمل في الصناعات الكهروكيميائية، ولهذا فقد كان لديه مصنع يمتلئ بالمولدات الكهربية والمحركات والأجهزة، وهو ما ساهم في تغذية فضوله وزاد اهتمامه بالعلوم. (كان هيرمان أينشتاين يسعى مع شقيقه ياكوب للحصول على عقد لمشروع واعد لإمداد قلب مدينة ميونيخ بالكهرباء، وأخذ هرمان يحلم بالفوز بهذا المشروع التاريخي الذي سيوفر له الأمان المالي وسيساعده على توسعة مصنعه.)

لا شك أن وجود الأجهزة الكهرومغناطيسية الكثيرة حول أينشتاين أيقظ فيه إدراكًا حدسيًّا للكهرباء والمغناطيسية، وهو على الأرجح ما شحذ قدرته الفذة على خلق صور مادية حية تصف قوانين الطبيعة بدقة شديدة. كان العلماء الآخرون يُغْرِقون أنفسهم في التعقيدات الرياضية، أما أينشتاين فرأى قوانين الفيزياء واضحة أمامه في صور بسيطة. وربما كان مرد هذه القدرة الحادة إلى تلك الأيام السعيدة حين كان قادرًا على التطلع إلى الأجهزة

الملقاة حول مصنع والده والتفكير في قوانين الكهربية والمغناطيسية. وقد مثلت قدرة أينشتاين على رؤية أي شيء من خلال صور فيزيائية واحدة من سماته الرائعة كعالم فيزياء.

وحين كان أينشتاين في الخامسة عشرة من عمره، اضطر إلى الانقطاع عن الدراسة أكثر من مرة بسبب الأزمات المالية المتكررة التي كانت تمر بأسرته. كان أبوه سخي اليد وميالًا لمساعدة كل من يمرون بأزمات مالية، ولم يكن جامد القلب كمعظم رجال الأعمال الناجحين. (وقد ورث ألبرت عنه هذا السخاء وهذه الطيبة). وعندما لم تستطع شركته التعاقد على مشروع إنارة ميونيخ، آلت إلى الإفلاس، ولهذا عرضت عليه عائلة بولين الثرية، التي كانت تعيش في ذلك الوقت في جنوا بإيطاليا، أن تساعده في إنشاء شركة جديدة، ولكن بشرط أن ينتقل بعائلته إلى إيطاليا (حتى يكون بالقرب منهم ويتمكنوا من كبح جماح شطحاته وكرمه المبالغ فيه). وبالفعل انتقلت العائلة إلى ميلان، قرب مصنع جديد في بافيا، ولأن هيرمان لم يرد أن ينقطع ابنه عن الدراسة مجددًا، تركه مع ذوي قرابة بعيدة يعيشون في ميونيخ.

عاش ألبرت أيامًا تعسة وحيدًا في مدرسة داخلية كرهها، ينتظر دوره لتأدية الخدمة العسكرية في الجيش البروسي الرهيب. كان المدرسون يكرهونه، وكان هذا الشعور متبادلًا، حتى أوشك على أن يطرد من المدرسة. وفجأة، قرر أينشتاين أن يلتحق بعائلته من جديد؛ فاتفق مع طبيب العائلة أن يكتب له توصية طبية تسمح له بالخروج من المدرسة على أساس أنه قد يتعرض لانهيار عصبي إذا لم يجتمع مع عائلته من جديد. وعليه قطع ألبرت الرحلة إلى إيطاليا وحيدًا، حتى انتهى به المطاف على باب بيت أسرته التي لم تكن تتوقع قدومه.

احتار هيرمان وبولين فيما يفعلان بابنهما الهارب من تأدية الخدمة العسكرية، والذي لم يتم دراسته الثانوية، وليست لديه مهارات أو حرفة يمتهنها أو مستقبل ينتظره. دارت مناقشات طويلة بين ألبرت ووالده الذي أراده أن يمتهن حرفة عملية كالهندسة الكهربائية، في حين كان هو يتحدث عن رغبته في أن يصير فيلسوفًا. وفي النهاية وصلا إلى حل وسط ووافق ألبرت على الالتحاق بمعهد البوليتكنيك الشهير في زيورخ بسويسرا، مع أنه

كان يصغر معظم المتقدمين لامتحان القبول بعامين. كانت ميزة هذا المعهد أنه لم يكن يشترط شهادة إتمام الدراسة الثانوية، بل كان يكتفي بتقدير معين يحصل عليه المتقدمون لامتحان القبول الصعب.

لكن لسوء حظه، رسب أينشتاين في امتحان القبول، وتحديدًا في اللغة الفرنسية والكيمياء والأحياء، لكنه أبلى بلاءً حسنًا في أسئلة الرياضيات والفيزياء حتى إنه أثار إعجاب مدير المعهد ألبين هيرتزوج الذي وعد بإلحاقه في العام المقبل دون الخضوع لهذا الامتحان العويص مرة أخرى. ليس هذا فحسب، بل إن هاينريش فيبر رئيس قسم الفيزياء بالمعهد عرض على أينشتاين حضور محاضراته في الفيزياء وهو في زيورخ، لكن هيرتزوج نصحه بأن يستغل هذا العام ويلتحق بثانوية آراو التي تقع غرب زيورخ بنصف ساعة فقط. وبالفعل عمل أينشتاين بنصيحته، وهناك نزل ألبرت ضيفًا على يوست فينتلر مدير المدرسة، الأمر الذي تمخضت عنه صداقة عمر بين عائلتي أينشتاين وفينتلر. (بل إنه في وقت لاحق تزوجت مايا من نجل فينتلر، وكان يدعى بول، وتزوج ميكيلي بيسو صديق أينشتاين من آنا الابنة الكبرى لفينتلر.)

تمتع أينشتاين بمناخ الحرية المريح في تلك المدرسة، وتخلص إلى حد ما من القوانين القمعية الدكتاتورية للنظام التعليمي في ألمانيا، وأحب السويسريين الذين يقدسون معاني التسامح وحرية الروح. قال أينشتاين عن هذا فيما بعد: «لكم أحب السويسريين، إنهم أكثر الناس الذين عاشرتهم إنسانية.»[١٢] ولأن الذكريات السيئة لحياته في المدارس الألمانية كانت لا تفارق فكره، فقد اتخذ خطوة مفاجئة وغير متوقعة من شاب مراهق وقرر أن يتخلى عن جنسيته الألمانية، وظل بلا جنسية نحو خمسة أعوام إلى أن صار في النهاية مواطنًا سويسريًّا.

وكان من تبعات مناخ الحرية الذي تمتع به ألبرت أن بدأ يتخلى عن طباعه القديمة من الخجل والعصبية والانطواء، وصار شخصًا اجتماعيًّا منفتحًا للحديث مع الآخرين وذا أصدقاء حميمين. وبدأت مايا تحديدًا تلاحظ تغيرًا جديدًا طرأ على أخيها الأكبر فوجدته صار مفكرًا ناضجًا حر التفكير. مرت شخصية أينشتاين بمراحل عديدة مختلفة، كانت أولاها

مرحلة العزلة والانزواء والاطلاع النهم. أما الثانية فكانت موزعة بين إيطاليا وسويسرا، وتملكه فيها الطبع البوهيمي والغرور والميل إلى الصفاقة، وكان كثير الدعابات اللاذعة التي تجعل الناس ينفجرون في الضحك في معظم الأحوال، وكان يجد في هذا متعة كبيرة.

وكان من نتائج ذلك أن أطلق عليه لقب «الألماني الوقح». يصف هانز بيلاند وهو أحد زملائه شخصيته في تلك المرحلة بقوله: «كان كل من يقترب منه لا يلبث أن تأسره قوة شخصيته، وكانت ابتسامته الساخرة التي لا تفارق فمه المكتنز بشفته السفلية الناتئة تثني المعارضين عن التعرض له. ولم تكن تقيده الأعراف والقواعد أو تثنيه عن مواجهة العالم بمنطق الفيلسوف الساخر؛ فلا يتورع عن أن يرمي كل زائف ومصطنع بسهام سخريته العقلانية.»[١٣]

وكان هذا «الفيلسوف الساخر» ذا شعبية متزايدة لدى الجنس اللطيف، ولم يكن هذا لما يتمتع به من قدرة ومهارة على الغزل الطريف فقط، بل كانت الفتيات أيضًا يجدنه حساسًا وأمينًا على الأسرار ومتعاطفًا، حتى إن إحداهن استشارته في مسألة عاطفية تتعلق بحبيبها، وطلبت منه أخرى أن يوقع لها على الأوتوجراف فكتب لها قصيدة سخيفة. وقربته إجادته العزف على الكمان إلى الناس أكثر وصار يتلقى دعوات كثيرة إلى حفلات العشاء. وتظهر خطابات تعود إلى تلك الفترة مدى شعبيته في أوساط السيدات اللاتي كن يحببن أن يصاحب عزف البيانو آلة وترية. يقول كاتب السير ألبريخت فولسينج: «لم تكن السيدات، سواء الشابات منهن أو المسنات، يفتتن فقط بعزفه على الكمان، بل أيضًا بمظهره الذي كان أقرب إلى مظهر فنان لاتيني مشبوب العاطفة منه إلى مظهر طالب علوم متبلد الحس.»[١٤]

وأينشتاين الذي لم يكن قد جاوز السادسة عشرة من عمره لم تلفت نظره سوى فتاة واحدة فقط، وهي ماري، إحدى بنات يوست فينتلر، وكانت تكبره بعامين. (والواقع أن جميع النساء اللاتي لعبن دورًا مهمًّا في حياته كن أكبر منه سنًّا، وهو أمر ورثه عنه ابناه بعد ذلك). كانت ماري فتاة حساسة وعطوفة وموهوبة، وترغب في أن تصبح مدرسة كأبيها. اعتاد ألبرت وماري أن يتنزها معًا لمسافات طويلة، يراقبان الطيور في الغالب،

وهى الهواية المحببة لآل فينتلر. واعتاد أينشتاين أيضًا أن يصاحبها بعزف الكمان بينما تعزف هي على البيانو.

اعترف لها ألبرت بحبه الصادق في خطاب كتب فيه: «حبيبتي ... إنني يا ملاكي قد عرفت الآن معنى الحنين ولوعة الاشتياق. ولكن ما يمنحنا الحب من سعادة يطغى على ما يسببه الاشتياق لنا من ألم، وإنني الآن فقط قد أدركت أنني لا غنى لي عنك أيتها العزيزة الحبيبة.»[١٥] واستجابت ماري لعواطفه، وبادلته حبًّا بحب، بل كتبت إلى أمه تطلب مباركتها، فردت عليها ومنحتها ما أرادت. وقتها كانت العائلتان تتوقعان عرسًا وشيكًا لطائري الحب، لكن ماري كانت تتملكها مشاعر دونية حين كانت تتكلم مع حبيبها عن العلم، ورأت أن هذه النقطة قد تمثل مشكلة في علاقتها بأينشتاين خاصة بالنظر إلى طبعه الحاد. وأدركت أنه سيتعين عليها أن تتنافس على قلب أينشتاين مع حبه الحقيقي الأول؛ الفيزياء.

ولم يكن كل ما يشغل بال أينشتاين هو حبه المتأجج لماري بل أيضًا افتتانه بخبايا الضوء والكهرباء. ففي صيف عام ١٨٩٥، كتب مقالًا مستقلًّا عن الضوء والأثير عنوانه: «دراسة لحالة الأثير في مجال مغناطيسي»، ثم أرسله إلى أقرب أخواله إليه سيزر كوخ الذي كان يعيش في بلجيكا. كان هذا هو أول أبحاثه العلمية ولم يكن يتجاوز خمس صفحات، وذكر فيه أن القوة المغناطيسية الغامضة التي طالما فتنته في صباه يمكن النظر إليها على أنها اضطراب من نوع ما في الأثير. وقبل هذا بسنوات كان تلمود قد أطلعه على كتاب لآرون بيرنشتاين بعنوان «تبسيط العلوم الطبيعية» كتب عنه أينشتاين فيما بعد قائلًا: «كنت وأنا أقرأ هذا الكتاب أندمج فيه تمامًا، وكان يستحوذ على كل انتباهي.»[١٦] وقد كان لهذا الكتاب تأثير كبير عليه، لأن المؤلف قد شرح فيه أسرار الكهرباء، وطلب من القراء أن يتخيلوا أنفسهم في رحلة داخل سلك التلغراف، في سباق مع إشارة كهربية بسرعة خارقة.

حين كان أينشتاين في السادسة عشرة من عمره، راوده حلم من أحلام اليقظة فقاده إلى فكرة كان من شأنها أن تغير مجرى التاريخ الإنساني بعد ذلك، وربما كان تذكره للرحلة الخيالية في كتاب بيرنشتاين هو ما

دفعه لتخيل نفسه يعدو بجانب شعاع الضوء بنفس سرعته، وجعله يسأل نفسه سؤالًا حاسمًا: كيف سيبدو شكل الشعاع حينها؟ وكما تخيل نيوتن إلقاء حجر من فوق قمة جبل بسرعة فائقة تجعله يدور حول الأرض مثل القمر، وما كان لذلك من نتائج، أثمرت محاولة أينشتاين لتخيل صورة هذا الشعاع عن نتائج مهمة ومدهشة.

في عالم نيوتن، يستطيع المرء أن يلحق بأي شيء متحرك إذا تحرك بالسرعة اللازمة. فمثلًا تستطيع سيارة مسرعة أن تدرك القطار، وإذا اخترقنا بأبصارنا نوافذ القطار، سنرى الركاب يقرءون الصحف ويحتسون القهوة كأنهم يجلسون في غرف معيشتهم. ومع أنهم يندفعون بسرعة كبيرة، فإنهم يبدون لنا مستقرين وثابتين إذا نظرنا إليهم من سيارة تنطلق بنفس سرعة قطارهم.

وبالمثل تخيل سيارة شرطة تطارد سيارة أخرى مسرعة. في الوقت الذي تنطلق فيه سيارة الشرطة بسرعة كبيرة حتى تحاذي السيارة الأخرى، يمكن لضابط الشرطة أن ينظر داخل السيارة التي يطاردها ويشير لسائقها بأن يوقف السيارة إلى جانب الطريق. في تلك اللحظة يبدو السائق لرجل الشرطة ثابتًا، مع أن كليهما يتحرك بسرعة قد تصل إلى مائة ميل في الساعة.

كان الفيزيائيون يعرفون أن الضوء يتكون من موجات، فرأى أينشتاين أن هذا يعني أنه إذا استطاع أن يعدو بجانب شعاع ضوء بنفس سرعته، فسيبدو له الضوء في غاية السكون. أي أن الضوء سيبدو، بالنسبة لمن يعدو بمحاذاته كموجة متجمدة أو صورة فوتوغرافية لموجة، وحينها لن يتذبذب في الزمن. لكن أينشتاين الشاب لم يرَ في هذا أي منطق؛ فلم يسبق لأي أحد في أي مكان أن رأى موجة متجمدة، وليس هناك وصف لشيء مثل هذا في الكتب العلمية. لقد كان الضوء في نظر أينشتاين ظاهرة من نوع فريد، لا أحد يستطيع اللحاق به، وليس هناك وجود للضوء المتجمد.

صحيح أنه لم يفهم هذا حينها، لكنه بمحض الصدفة وضع يده على واحدة من أهم الملاحظات العلمية في ذلك القرن، وهى الملاحظة التي تمخض عنها فيما بعد مبدأ النسبية الذي كتب عنه بعد ذلك قائلًا: «كان هذا المبدأ نتيجة لتناقض لاحظته وأنا في السادسة عشرة، وهو أنني إذا

لاحقت شعاع الضوء بالسرعة ج (وهي سرعة الضوء في الفراغ)، فالمفترض أن أرى شعاع الضوء هذا ... ساكنًا. لكن ما من شيء يشير إلى صحة هذا، سواء في التجارب العملية أو في معادلات ماكسويل.»[١٧]

لقد كانت قدرة أينشتاين على فصل المبادئ الأساسية وراء أي ظاهرة والتركيز على الصورة الجوهرية هي التي أهلته لإحداث ثورة علمية كبرى. وعلى خلاف علماء آخرين أقل أهمية، لم يكن أينشتاين يغرق نفسه في تعقيدات الرياضيات، بل كان يفكر بأسلوب الصور الفيزيائية البسيطة؛ كالقطارات المسرعة، والمصاعد الهابطة، والصواريخ، وحركة عقارب الساعة. وكانت هذه الصور هي التي ساعدته للخروج بأعظم أفكار القرن العشرين، وعن هذا كتب: «إن جميع النظريات الفيزيائية وتعبيراتها الرياضية يمكن أن تُشرح عن طريق صور وصفية بسيطة حتى الطفل الصغير يستطيع أن يفهمها.»[١٨]

وفي خريف عام ١٨٩٥، التحق أينشتاين أخيرًا بمعهد بوليتكنيك، وبدأ مرحلة مختلفة جديدة تمامًا من حياته. لقد رأى أنه للمرة الأولى سوف يعرف أحدث ما وصل إليه علم الفيزياء الذي صارّ حديث أوروبا كلها. كان يعرف أن رياح التغيير تهب على عالم الفيزياء، وأن هناك تجارب كثيرة جديدة تشكك في قوانين نيوتن، بل في كلاسيكيات الفيزياء كلها.

وخلال دراسته في المعهد، أراد أينشتاين تعلم النظريات الجديدة في مجال الضوء، وخاصة معادلات ماكسويل، التي كتب عنها فيما بعد قائلًا إنها كانت: «الموضوع الأكثر روعة وقت أن كنت طالبًا.»[١٩] وعندما درسها أخيرًا، استطاع أن يجيب على السؤال الذي ظل عالقًا في ذهنه. فكما كان يتوقع، لم يجد في معادلات ماكسويل ما يفترض أن الضوء يتجمد في الزمن، ثم اكتشف ما هو أبعد من ذلك. لقد اندهش عندما وجد أنه وفقًا لنظرية ماكسويل يبتعد الضوء عنك بنفس سرعته، مهما كنت سريعًا. وكان هذا هو الحل النهائي لهذا اللغز: لا يستطيع المرء أبدًا أن يلحق بشعاع الضوء لأنه سوف يبتعد عنه دائمًا بنفس السرعة. لكن هذا بدوره كان يتعارض مع كل استنتاجاته البديهية عن العالم، وسوف يتطلب الأمر منه بضع سنين أخرى لحل هذا التناقض الناتج عن هذه الملاحظة المهمة؛ وهي أن الضوء دائمًا يتحرك بنفس السرعة.

تطلبت هذه الأوقات الثورية نظريات ثورية جديدة، وقادة جددًا يتسمون بالجرأة والجسارة. لكن لسوء الحظ لم يجد أينشتاين مثل هؤلاء في المعهد. لقد فضل أساتذته الاكتفاء بالنظريات الكلاسيكية، وهو ما اضطر أينشتاين إلى التغيب عن كثير من صفوفه الدراسية، وقضاء معظم وقته في المعمل أو في التعرف على نظريات جديدة بنفسه. ولكن أساتذته ظنوا أن تغيبه هذا بدافع من كسل متأصل فيه، ومرة أخرى يبخسه أساتذته قدره.

وكان من بين أساتذته في المعهد هاينريش فيبر أستاذ الفيزياء، الذي سبق أن أبدى إعجابه الشديد به، وعرض عليه حضور محاضراته بعد أن رسب في امتحان القبول، بل إنه عرض عليه أيضًا أن يعمل مساعدًا له بعد تخرجه. لكن مع مرور الوقت بدأ فيبر يستاء من قلة صبر أينشتاين وتمرده على سلطته، إلى أن تراجع في النهاية عن دعمه له وأخبره بقوله: «إنك فتى ذكي للغاية، لكن عيبك الخطير أنك لا تقبل أن يوجهك أحد.»[٢٠] وبالمثل لم يكن أينشتاين يروق للأستاذ جين بيرنيت، وهو أحد أساتذة الفيزياء، والذي كان قد شعر بالإهانة عندما رمى أينشتاين ذات مرة كتيب الإرشادات الخاص بأحد صفوفه في سلة المهملات حتى دون أن يلقي نظرة عليه. لكن مساعد بيرنيت دافع عن أينشتاين قائلًا إن حلول أينشتاين غير مألوفة، لكنها غالبًا تثبت صحتها. لكن مع هذا كان بيرنيت صريحًا مع أينشتاين حين واجهه قائلًا: «إنك فتى نشيط، لكن لا مستقبل لك في الفيزياء، ومن مصلحتك أن تتحول إلى تخصص آخر كالطب أو الأدب أو القانون.»[٢١] وذات مرة تسبب أينشتاين في انفجار داخل المعمل أدى إلى إصابة شديدة في يده اليمنى حتى إنها احتاجت تقطيبًا لغلق الجرح، والسبب أنه قد مزق إرشادات استخدام المعمل. وكان من أثر هذا أن ازدادت علاقته ببيرنيت سوءًا حتى إن الدرجة التي حصل عليها أينشتاين في مادته كانت «١»، وهي أقل درجة ممكنة، هذا بخلاف أن هرمان منكوفسكي أستاذ الرياضيات أطلق عليه لقب «الكلب الكسول».

وعلى النقيض من الأساتذة، كان أصدقاء أينشتاين في زيورخ شديدي الإخلاص له ووقفوا بجانبه طوال حياته. في تلك السنة لم يكن في صف الفيزياء الذي يحضره سوى خمسة طلاب، وكان يعرفهم جميعًا. وكان

أحد هؤلاء الطلبة مارسيل جروسمان طالب الرياضيات الذي كان معتادًا على تدوين ملاحظات دقيقة ومفصلة خلال جميع المحاضرات. وكانت هذه الملاحظات من الجودة أن فضل أينشتاين استعارتها منه على حضور المحاضرات نفسها، ومع هذا كان يحوز درجات في الامتحان أكثر من درجات جروسمان. (لا تزال ملاحظات جروسمان محفوظة في الجامعة حتى يومنا هذا.) وذات مرة قال جروسمان لوالدة أينشتاين يومًا ما سيقع «أمر عظيم»[٢٢] لأينشتاين.

لكن أكثر من حاز اهتمامه من الزملاء كانت امرأة صربية تدعى ميليفا ماريتش. في ذلك الوقت لم يكن من المألوف وجود دارس للفيزياء ينتمي إلى بلاد البلقان، ناهيك عن أن يكون امرأة. كانت ميليفا امرأة فريدة من نوعها، قررت بنفسها أن تذهب إلى سويسرا لأنها كانت البلد الوحيد الناطق بالألمانية الذي يسمح للنساء بالالتحاق بالجامعة. وكانت خامس امرأة فقط يسمح لها بالتخصص في الفيزياء بمعهد بوليتكنيك السويسري. وجد أينشتاين في هذه المرأة نصفه الآخر لأنها كانت قادرة على التكلم بلغة الفيزياء، حبه الأول، مما جعله عاجزًا عن مقاومتها، لذا سرعان ما قطع علاقته بماري فينتلر، وأخذ يتخيل نفسه وميليفا أستاذين كبيرين في الفيزياء يخرجان باكتشافات عظيمة معًا. وسرعان ما أغرم كلاهما بالآخر، وحين كانا يفترقان أثناء العطلات، كانا يتبادلان رسائل حب طويلة ملتهبة يخاطب فيها أحدهما الآخر بألقاب تدليل محببة مثل جوني ودوللي، وكتب أينشتاين لها قصائد حب وعبارات غزل رقيقة على غرار: «مهما ارتحلت، فمكاني معك. إن الشوق يملؤني لذراعيك الرقيقتين وتقبيل شفتيك اللطيفتين.»[٢٣] تبادل أينشتاين وميليفا ما يزيد عن أربعمائة وثلاثين خطابًا، وقد احتفظ بها أحد أبنائهما. (المفارقة أنهما في ذلك الوقت كانا إلى الفقر أقرب، وبالكاد يسددان فواتيرهما، ولم يكونا يعرفان أن واحدًا من خطاباتهما تلك سيباع بأربعمائة ألف دولار في أحد المزادات بعد ذلك بسنين عديدة.)

لم يستطع أصدقاء أينشتاين أن يفهموا سر إعجابه بها، فقد كانت تكبره بأربعة أعوام، وكانت شخصيتها تناقض انفتاح شخصيته وحسه الفكاهي، إذ تميزت بمزاجها المتقلب وميلها إلى العزلة وانعدام ثقتها بالآخرين. وكانت

تعاني عيبًا خلقيًا منذ ولادتها جعل إحدى ساقيها أقصر من الأخرى، مما أكسب مشيتها عرجًا ملحوظًا، وهو الأمر الذي زاد من تباعدها عن الآخرين. وكان الأصدقاء يتهامسون من وراء ظهرها عن طباع أختها زوركا الغريبة التي انتهى بها الحال إلى أن أودعت مصحة عقلية لعلة الفصام. لكن أكثر ما كان يعيبها في نظر الآخرين هي مكانتها الاجتماعية؛ ففي حين كان أهل سويسرا ينظرون باستعلاء إلى اليهود، كان اليهود بدورهم ينظرون باستعلاء إلى الأوروبيين الشرقيين، وبالأخص أهل البلقان.

ولم يكن لدى ميليفا أي شك في عبقرية أينشتاين التي كانت مع مقته للسلطة مضرب الأمثال. كانت تعرف أنه تخلى عن جنسيته الألمانية، وأن له أفكارًا صادمة فيما يتعلق بالحرب والسلام، وعن هذا كتبت قائلة: «إن لحبيبي لسانًا سليطًا، وهو أيضًا يهودي بحق.»[٢٤]

غير أن علاقة أينشتاين الآخذة في التوطد مع ميليفا أحدثت تصدعًا في علاقته بوالديه، فلم تكن ميليفا تروق لأمه التي كانت متحمسة لماري، واعتبرت ميليفا من مرتبة دون مرتبة ابنها، وأن علاقتها به ستلحق به الأذى، وستضر بسمعتهم، وكانت ببساطة تراها أكبر منه سنًّا، ومريضة، وعديمة الأنوثة، وشديدة الكآبة، هذا بخلاف كونها صربية، حتى إنها أسرت إلى إحدى الصديقات قائلة: «إن الآنسة ماريتش هذه قد جعلتني أعيش أحلك أيام حياتي، ولو استطعت لأخرجتها من حياتنا. إنني أمقتها جدًّا، لكن لم تعد لي أي سلطة على ألبرت.»[٢٥] لكنها مع هذا حذرته قائلة: «عندما تصير أنت في الثلاثين من عمرك، ستغدو هي عجوزًا شمطاء.»[٢٦]

لكن أينشتاين كان مصممًا على الاستمرار في علاقته مع ميليفا، حتى ولو سبب هذا شرخًا عميقًا في عائلته المتماسكة. وحدث في إحدى المرات أن كانت أمه تزوره فسألته: «إلام ترمي من علاقتك بها؟»[٢٧] فأجابها أينشتاين: «إلى أن تصير زوجتي»، وما إن سمعت الأم هذا الجواب حتى ألقت بنفسها على الفراش منفجرة في بكاء هستيري، واتهمته بأنه يدمر مستقبله من أجل امرأة «ليس لها مكان بين العائلات المحترمة»[٢٨] على حد قولها. وبسبب هذه المعارضة الشديدة التي لقيها من أفراد عائلته، اضطر أينشتاين أن يؤجل موضوع الزواج من ميليفا حتى ينهي دراسته، ويحصل على عمل مجز.

تخرج أينشتاين أخيرًا عام ١٩٠٠ من معهد بوليتكنيك بشهادة في الفيزياء والرياضيات، لكن حظه قد تعثر. كان من المفترض أن يعين مساعدًا بالمعهد، وكان هذا هو العرف المتبع، خاصة أنه اجتاز جميع الاختبارات بتقديرات عالية. لكن لأن الأستاذ فيبر كان قد سحب العرض الذي سبق أن عرضه عليه بأن يكون مساعده، فقد أصبح أينشتاين الطالب الوحيد في صفه الذي حُرم أن يعمل مساعدًا لأستاذه، وهو الأمر الذي كان كصفعة على وجه أينشتاين. وفجأة وقع ذلك الشاب الذي كان كثير الزهو بنفسه في الحيرة بشأن المستقبل الذي ينتظره، خاصة أن الدعم المالي الذي كان يتلقاه من خالة موسرة له في جنوا قد انقطع بتخرجه.

في ذلك الوقت أقدم أينشتاين — الذي لم يكن عالمًا بمدى كراهية فيبر له — على حماقة بأن وضع اسم فيبر في قائمة الأشخاص الذين يمكن للراغبين في توظيفه أن يتصلوا بهم لطلب رأيهم فيه، دون أن يدري أن هذا سوف يؤذي مستقبله أشد الأذى. لكنه أدرك في النهاية أن تلك الحماقة خربت مسيرته المهنية حتى قبل أن تبدأ، وكتب عن ذلك متحسرًا: «كان من الممكن أن أجد وظيفة بسرعة لو لم يكن فيبر قد لعب معي تلك اللعبة الدنيئة. لكن هذا لم يثنني عن البحث أو ينزع عني حسي الفكاهي ... فالله خلق الحمار ووهبه القدرة على التحمل.»[٢٩]

في تلك الآونة، كان أينشتاين قد تقدم بطلب للحصول على الجنسية السويسرية، لكن هذا لم يكن ممكنًا ما دام عاطلًا عن العمل. كان عالمه ينهار سريعًا من حوله، حتى إنه فكر في أن يعزف الكمان في الشوارع مستجديًا المارة.

وحين رأى والده مقدار التعاسة التي يعيش فيها، كتب خطابًا إلى الأستاذ فيلهلم أوستفالد الأستاذ بجامعة لايبتسيج، متوسلًا إليه أن يلحق ابنه بالعمل كمساعد له (لم يرد أوستفالد على هذا الخطاب، لكن المفارقة أنه بعد عشر سنين كان أول من رشح أينشتاين لجائزة نوبل في الفيزياء.) كتب أينشتاين في ذلك الوقت عن ظلم العالم قائلًا في مرارة وأسى: «ليست هذه الدنيا إلا سباقًا لعينًا كُتب علينا جميعًا نحن الأحياء أن نخوضه.»[٣٠] «وها أنا الآن قد صرت عالة على أقربائي ... فيا ليتني لم أولد في هذه الحياة.»[٣١]

ومما زاد الأمر سوءًا أن والده أفلس مرة أخرى، بل إنه أنفق كل ميراث زوجته أيضًا وغرق في ديونه لعائلتها. حينها لم يجد أينشتاين بدًّا من أن يبحث عن أي فرصة للتدريس مهما كانت قليلة الشأن. وفي غمرة يأسه، بدأ يفتش في إعلانات الصحف عن أي وظيفة. ومع طول بحثه، كاد عند نقطة معينة أن يفقد الأمل في أن يشتغل بالفيزياء، وفكر جديًّا في أن يعمل بإحدى شركات التأمين.

وفي عام ١٩٠١ وجد وظيفة مدرس رياضيات في مدرسة فينترتور الفنية. وأثناء عمله فيها استطاع أن يسترق ساعات محدودة وسط واجباته التدريسية المرهقة كي يعمل على أول بحث نشر له «استنتاجات من ظاهرة الخاصية الشعرية»، الذي لم يكن ذا أهمية كبيرة حتى في رأي أينشتاين نفسه. وفي العام الذي تلا ذلك عمل بوظيفة مؤقتة كمعلم خاص في مدرسة شافهاوزن الداخلية. وكما كان متوقعًا لم يستطع أن يتعايش مع مديرها الديكتاتور ياكوب نوش وسرعان ما فُصل من عمله. (كان المدير في قمة غيظه من أينشتاين حتى إنه اتهمه بالتحريض على ثورة).

ظن أينشتاين عندها أنه سيظل حتى يموت لا يفعل شيئًا سوى العيش على الكفاف، والتدريس لطلبة لا يلقون للعلم بالًا، ومطالعة إعلانات الصحف. يروي صديقه فريدريش أدلر أنه كان في تلك الفترة على وشك الموت جوعًا. ولكن مع ما كان يعانيه من إخفاق شديد، فقد رفض أن يسأل أقاربه أي مساعدة. ولم يكن هذا منتهى مآسيه، بل إنه تلقى صدمتين أخريين أيضًا، أولاهما أن ميليفا رسبت للمرة الثانية في الاختبارات النهائية للمعهد، وهو ما يعني نهاية مستقبلها كمشتغلة بالفيزياء، حيث لن يقبلها أحد في برنامج للدراسات العليا بمثل هذا السجل السيئ، وكان من أثر هذا أن أصابها القنوط وفقدت اهتمامها بالفيزياء، وهكذا انتهى حلمهما الرومانسي باستكشاف خبايا الكون معًا. ثم كان في نوفمبر/تشرين الثاني من عام ١٩٠١ أن تلقى أينشتاين منها رسالة، وكانت قد رجعت إلى بلدها، تخبره فيها بأنها حامل.

ومع أن أينشتاين في ذلك الوقت لم ير أمامه أي مستقبل، فقد فرح لأنه سيصير أبًا. لكن بعده عن ميليفا كان عذابًا مقيمًا له لم يخفف منه إلا ما

كان يتبادله معها من رسائل بشكل شبه يومي. وفي الرابع من فبراير/شباط عام ١٩٠٢، علم أخيرًا أنه صار أبًا لطفلة صغيرة ولدت في منزل أهل ميليفا في نوفي ساد، وعُمِّدت باسم ليسيريل. فرح أينشتاين للغاية، وأراد أن يعرف كل شيء عنها، حتى إنه كتب إلى ميليفا يتوسل إليها أن ترسل له صورة فوتوغرافية أو حتى رسمًا للطفلة. والغريب أنه لا أحد يعرف ماذا جرى للطفلة، فقد كان آخر ذكر لها في رسالة تعود لشهر سبتمبر/أيلول عام ١٩٠٣، وجاء فيها أنها مصابة بالحمى القرمزية. ويقول المؤرخون إنها إما أن تكون قد ماتت بالحمى، أو أنها قد وُهبت لعائلة أخرى لتتبناها.

ولما ضاقت الدنيا بأينشتاين، جاءته رسالة من حيث لا يتوقع؛ فقد استطاع صديقه الوفي مارسيل جروسمان أن يحصل له على وظيفة موظف عام في مكتب براءات الاختراع في بيرن. ومن تلك الوظيفة المتواضعة، سيغير أينشتاين بعد ذلك العالم بأسره. (ومن أجل أن يبقي على أحلامه التي بدأت تخبو بأن يصير أستاذًا للفيزياء أقنع ألفريد كلاينر الأستاذ بجامعة زيورخ بأن يشرف على أطروحته للدكتوراه خلال تلك الفترة.)

وفي الثالث والعشرين من يونيو/حزيران عام ١٩٠٢ بدأ أينشتاين عمله في مكتب براءات الاختراع كخبير فني من الدرجة الثالثة براتب زهيد للغاية. ولكن اتضح فيما بعد أنه كانت لتلك الوظيفة ثلاث مزايا خفية مهمة؛ أولًا: فرضت عليه إيجاد المبادئ الفيزيائية البسيطة التي تشكل أساس كل اختراع يعرض عليه، وقد ساعده هذا على صقل موهبته الطبيعية في الفيزياء بالتغاضي عن التفاصيل غير الضرورية، وفصل المكونات الأساسية لكل اختراع، ثم كتابة تقرير عنه، وكانت تقاريره تلك طويلة مسهبة في التفصيل والتحليل حتى إنه كان يقول لأصدقائه إنه يشعر كالذي يجني قوت يومه بأن «يبول حبرًا»[٣٢] على حد قوله. ثانيًا: كان كثير من تطبيقات الاختراعات التي تعرض عليه تتعلق بالأجهزة الكهروميكانيكية، ولهذا فإن خبرته الكبيرة التي جناها من مراقبة الحركة الداخلية للمولدات والمحركات الكهربية في مصنع والده أفادته كثيرًا في عمله. وأخيرًا: ساعدته هذه الوظيفة على البعد عن التشتيت، ومنحته الوقت الذي يحتاجه كي يفكر في المسائل العميقة الخاصة بالضوء والحركة. كان عادة ينهي عمله بسرعة، ثم يقضي

الساعات الباقية في أحلام اليقظة التي لم تفارقه منذ صباه. وهكذا فقد أعاده عمله في هذا المكتب إلى عالم الفيزياء مرة أخرى، وخاصة حينما كان يختلي بنفسه ليلًا. وكان جوه الهادئ يناسبه للغاية، حتى إنه أطلق عليه اسم «ديره الدنيوي.»[٣٣]

ولم يكد أينشتاين يستقر في عمله الجديد، حتى بلغه أن أباه يحتضر من مرض القلب، فلم يكن منه إلا أن رجع على الفور إلى ميلان في أكتوبر/تشرين الأول من نفس العام. وعندما كان هرمان على فراش الموت، وافق أخيرًا على أن يتزوج ألبرت من ميليفا. ولما فارق الحياة، أثار موته في نفس ألبرت شعورًا طاغيًا بأنه قد خذل أباه وعائلته كلها، وهو الشعور الذي لازمه بعد ذلك بقية حياته. كتبت سكرتيرته هيلين دوكاس عن هذا قائلة: «حتى بعد مرور سنين طويلة، ظل يتذكر الألم الذي سببته خسارته لأبيه، بل إنه كتب ذات مرة قائلًا إن موت أبيه كان أقسى صدمة تعرض لها في حياته.»[٣٤] وكذلك كتبت أخته مايا قائلة بحسرة: «للأسف لم يمهله القدر (تقصد والدها) كي يرى مقدمات نبوغ ابنه الذي سيكون بعد ذلك مضرب الأمثال في العظمة والشهرة.»[٣٥]

وفي يناير/كانون الثاني عام ١٩٠٣ استطاع أينشتاين أخيرًا أن يجمع شتات نفسه ويتزوج من ميليفا، وبعد عام واحد ولد ابنهما هانز. وهكذا وطن أينشتاين نفسه في حياته كموظف حكومي بسيط في بيرن وزوج وأب. يروي صديقه ديفيد رايخنشتاين ما رآه عندما زاره في بيته قائلًا: «كان باب الشقة مفتوحًا كي يسمح للأرضية التي مسحت لتوها، وللثياب المغسولة المعلقة في الردهة، بأن تجف. وحين دخلت غرفة أينشتاين، وجدته يهز بصبر مهد طفله بيد وباليد الأخرى يمسك كتابًا مفتوحًا، وفي فمه سيجار من نوع في غاية الرداءة، ومن الموقد كان ينبعث دخان كريه.»[٣٦]

نشر أينشتاين إعلانًا في الصحيفة المحلية عارضًا «دروسًا خاصة في الرياضيات والفيزياء»[٣٧] لمن يرغب، في محاولة لزيادة دخله. كانت هذه أول مرة يذكر فيها اسم أينشتاين في الصحف، وكان أول من استجاب لإعلانه هذا طالب فلسفة يهودي روماني يدعى موريس سولوفين، وكان أينشتاين في قمة سعادته بهذا الطالب لأنه وجده يصلح لاختبار وقع أفكاره

العديدة عن المكان والزمان والضوء على الآخرين ومدى منطقيتها في نظرهم. ولكي يجنب نفسه الانعزال عن الاتجاهات العلمية السائدة في الفيزياء، كوّن أينشتاين حلقة دراسية غير رسمية سماها متهكمًا «الأكاديمية الأولمبية»، بهدف مناقشة القضايا البارزة على الساحة.

وكان أينشتاين كلما استرجع ذكريات الأيام التي قضاها مع هذه المجموعة رآها أسعد أيام حياته، حتى إن عينيه، حتى بعد مرور عشرات السنين، كانتا تدمعان عندما يتذكر كيف كانوا يخرجون بآراء جريئة وقوية في كل المسائل الفيزيائية التي يتناولونها والتي كانت تشغل الفيزيائيين في ذلك الوقت. وكانوا يتنقلون بمناقشاتهم المحمومة بين جميع مقاهي زيورخ وحاناتها، وبدا لهم كل شيء ممكنًا. وكانوا يؤكدون بإعزاز قائلين إن «كلام الفيلسوف أبيقور ينطبق على حالنا: «إن الفقر لشيء جميل وممتع».»[٣٨]

وكان أكثر ما يتناولونه أعمال إرنست ماخ المثيرة للجدل، وكان فيزيائيًّا وفيلسوفًا من فيينا، شديد الرفض والمعارضة لأي أفكار فيزيائية لا تستطيع الحواس إدراكها. دوّن ماخ نظرياته في كتاب مهم سماه («علم الميكانيكا»)، ورفض فيه فكرة وجود الذرة، معللًا هذا بعدم إمكانية قياسها. إلا أن أكثر ما أثار انتباه أينشتاين في أعمال ماخ هو نقده اللاذع لمفهومي الأثير والحركة المطلقة؛ فقد اعتبر ماخ قوانين نيوتن الشهيرة غير قائمة على أساس حقيقي، لأن مفهومي الزمان والمكان المطلقين لا يمكن قياسهما. وكان يعتقد أن الحركة النسبية تختلف عن الحركة المطلقة، فالأولى قابلة للقياس، أما الثانية فلا. ولم يحدث أن اكتشف أحد المعيار المطلق الغامض الذي يمكن أن يحدد حركة الكواكب والنجوم، وليس هناك دليل مادي تجريبي ولو كان ضعيفًا على وجود الأثير.

في عام ١٨٨٧ كانت قد أجريت سلسلة من التجارب التي أظهرت قصورًا خطيرًا في نظرية نيوتن على يد ألبرت مايكلسون وإدوارد مورلي بهدف محاولة وضع أفضل مقياس ممكن لتحديد خصائص الأثير غير المرئي. ومن خلال هذه التجارب توصل هذان العالمان إلى أن الأرض تسبح في بحر الأثير، محدثة «رياحًا أثيرية»، ومن ثم فإن سرعة الضوء يفترض أن تتغير، وفقًا للاتجاه الذي تتخذه الأرض.

تخيل مثلًا أنك تعدو مع الريح. إذا كنت تجري في اتجاهها، فسوف تشعر أن هناك من يدفعك أثناء عدوك، بل إن سرعة الرياح ستزيد من سرعتك. أما إذا كنت تجري في عكس اتجاهها، فستكون سرعتك بطيئة؛ لأن سرعتها في هذه الحالة تحد من سرعتك. وبالمثل إذا جريت في اتجاه عمودي على اتجاه الريح فسوف تجد نفسك مدفوعًا إلى الجنب ولكن بسرعة مختلفة. خلاصة القول أن سرعتك تتغير وفقًا للاتجاه الذي تجري فيه بالنسبة إلى الريح.

صمم مايكلسون ومورلي تجربة بارعة نجحا من خلالها في أن يقسما شعاع الضوء إلى شعاعين منفصلين، يذهب كل منهما في اتجاه مختلف مكونًا مع الآخر زاوية قائمة. وفي مقابل الشعاعين وضعت مرآتان تعكسان الشعاعين مرة أخرى إلى المصدر، ثم يختلطان ويتداخلان. وهذا الجهاز بأكمله كان موضوعًا بعناية على سطح من الزئبق السائل، مما يسمح له بالالتفاف بحرية، وكان من الرقة بحيث استطاع بسهولة التقاط حركة العربات التي تجرها الخيول وتمر بالقرب منه. وطبقًا لنظرية الأثير، من المفترض أن ينتقل الشعاعان بسرعتين مختلفتين. على سبيل المثال، أحدهما سوف يتحرك في اتجاه حركة الأرض في الأثير، وسيتحرك الآخر بانحراف قدره ٩٠ درجة عن اتجاه الرياح الأثيرية، ولهذا فالمتوقع ألا تكون عودتهما إلى المصدر متزامنة.

اندهش مايكلسون ومورلي كثيرًا عندما وجدا أن سرعة الضوء كانت واحدة بالنسبة لكل الأشعة الضوئية، بصرف النظر عن الاتجاه الذي كان يشير إليه الجهاز. كان هذا اكتشافًا غريبًا لأنه يعني أنه لا يوجد ما يسمى بالرياح الأثيرية على الإطلاق، وأن سرعة الضوء لا تتغير أبدًا، حتى لو دُوِّرَ الجهاز في جميع الاتجاهات.

جعلت هذه النتيجة الفيزيائيين في حيرة بين خيارين صعبين؛ الأول افتراض أن الأرض قد تكون ثابتة تمامًا بالنسبة للأثير، وهو خيار يتعارض مع جميع ثوابت علم الفلك منذ أعمال كوبرنيكوس الأولى، والذي رأى موقع الأرض في الكون عاديًّا ولا شيء مميز به. أما الخيار الثاني فهو إسقاط نظرية الأثير من الأساس ومعها كل قوانين نيوتن.

بذل العلماء جهودًا كبيرة لإنقاذ نظرية الأثير، وكان أقربهم إلى حل تلك المعضلة الفيزيائي الهولندي هندريك لورنتز والفيزيائي الأيرلندي جورج فيتزجيرالد، اللذين استنتجا أن الأرض، أثناء حركتها خلال الأثير، تنضغط فيزيائيًّا تحت تأثير الرياح الأثيرية، وهو ما يعني أن الأمتار في تجربة مايكلسون ومورلي كانت تنكمش. كان هذا يعني أن الأثير، الذي يمتلك في الأساس خصائص عجيبة لكونه غير مرئي، وغير قابل للضغط، وشديد الكثافة، وما إلى ذلك، صارت له خاصية أخرى؛ وهى أنه قادر من الناحية الميكانيكية على ضغط الذرات بالمرور بينها. كان هذا كفيلًا بتفسير النتيجة السلبية في التجربة. إن سرعة الضوء تتغير بالفعل، لكن لا يمكننا قياس هذه السرعة لأننا كلما حاولنا هذا باستخدام مقياس متري وجدنا سرعة الضوء تتغير والمقياس المتري ينكمش في اتجاه رياح الأثير بذات القدر بالضبط.

حسب لورنتز وفيتزجيرالد، كل على حدة، مقدار الانكماش، وخرجا بما نسميه اليوم بـ«انكماش لورنتز-فيتزجيرالد»، لكن أيًّا منهما لم يكن راضيًا عن هذه النتيجة؛ فلم تكن إلا حلًّا سريعًا؛ طريقة لرتق الفجوة في ميكانيكا نيوتن، لكن كان هذا أفضل ما استطاعا عمله. ولم ترضِ هذه النتائج فيزيائيين آخرين كثيرين؛ لأنها بدت كما لو كانت مصممة لتستر عَوار نظرية الأثير. أما عن أينشتاين، فقد بدت له فكرة الأثير، بخصائصه السحرية الرائعة، فكرة مصطنعة وملفقة. لقد هدم كوبرنيكوس منذ عهد بعيد فكرة أن الأرض هي مركز النظام الشمسي، وهي الفكرة التي وضعها بطليموس، والتي افترضت أن الكواكب تسير في حركات دائرية غاية في التعقيد سميت «أفلاك التدوير». باستخدام نظرية شفرة أوكام، استنتج كوبرنيكوس أنه لو كانت أفلاك بطليموس حقيقية، لمرت على الأرض عواصف ثلجية شديدة، ولأن هذا ليس صحيحًا، فالحقيقة أن الشمس هي مركز النظام الشمسي.

ومثل كوبرنيكوس، سيستخدم أينشتاين نظرية شفرة أوكام لاستئصال جميع الادعاءات الفارغة من نظرية الأثير، وسيفعل هذا باستخدام صورة لأطفال.



الفصل الثالث

النسبية الخاصة و«عام المعجزات»

أثارت انتقادات ماخ لنظرية نيوتن بالغ اهتمام أينشتاين ودفعته لأن يعود لتخيل نفسه يعدو بجانب شعاع الضوء، وهي الصورة التي لم تفارق خياله منذ كان في السادسة عشرة، وتذكر الاستنتاج الذي خرج به من نظرية ماكسويل — وقت أن كان في معهد بوليتكنيك — وهو أن سرعة الضوء ثابتة مهما كانت طريقة قياسك لها، وظل أينشتاين لسنين يفكر في كيفية حدوث هذا، وهو ما يتعارض مع نظرية نيوتن التي تنص على القدرة المطلقة على اللحاق بالأجسام المسرعة.

لنعد مرة أخرى لمثال الشرطي الذي يلاحق سيارة مسرعة؛ إذا قاد الشرطي سيارته بالسرعة الكافية فسوف يلحق بالسيارة الأخرى، وهو أمر يعرفه كل من نال مخالفة مرورية بسبب السرعة، لكن إذا استبدلنا شعاع الضوء بالسيارة المسرعة فسوف يلاحظ الرائي أن سيارة الشرطي تنطلق خلف شعاع الضوء مباشرة وتكاد تساويه في السرعة، وهو ما نتوقع أن يلاحظه الشرطي أيضًا، لكن الواقع أننا لو سألنا الشرطي بعدها لقال إن شعاع الضوء فاقه في السرعة، وإنه كلما زاد من سرعته زادت سرعة شعاع الضوء بنفس المقدار بالضبط، بل إنه سيقسم أنه لم يستطع الاقتراب ولو خطوة واحدة إضافية من الشعاع كما لو كان جالسًا في مكان ثابت لا في سيارة شرطة مسرعة.

وإذا أصررت أنك رأيته على بعد خطوة من شعاع الضوء حتى كاد أن يلحق به لاتهمك بالجنون وأصر أنه لم يستطع الاقتراب منه، كان هذا هو اللغز المحير الذي أرق أينشتاين طويلًا؛ «فكيف يمكن أن يرى» شخصان

نفس الحدث بصورتين مختلفتين؟ وإذا كانت سرعة الضوء ثابتة طبيعيًّا فكيف يمكن أن تتباين في أعين شخصين مختلفين؟

أدرك أينشتاين أن نظرية نيوتن (التي بها يمكن جمع السرعات وطرحها)، ونظرية ماكسويل (التي بها تكون سرعة الضوء ثابتة لا تتغير) متعارضتان أشد ما يكون التعارض، وأن نظرية نيوتن ما هي إلا نظام قائم على عدة فرضيات؛ فإذا تغيرت واحدة من تلك الفرضيات انسلت وراءها النظرية بأسرها كما تَنسل كنزة صوفية كاملة بانسلال خيط واحد، وكان ذلك الخيط هو تخيل أينشتاين لنفسه يتسابق مع شعاع الضوء.

وفي أحد أيام شهر مايو/أيار من عام ١٩٠٥ زار أينشتاين صديقه العزيز ميكيلي بيسو، الذي كان هو الآخر يعمل في مكتب براءات الاختراع، وعرض عليه أبعاد ذلك اللغز الذي حيره لنحو عشر سنين؛ فقوانين نيوتن للحركة ومعادلات ماكسويل اللتان تشكلان معًا أساس الفيزياء لا تتسقان، ولا بد أن إحداهما صحيحة والأخرى خاطئة، وتحديد هذا سيترتب عليه إعادة النظر في علم الفيزياء ككل، ثم أخذ يستفيض في شرح التناقض الكامن في مسألة التسابق مع شعاع الضوء، وقد قال أينشتاين بعدها: «إن بذرة نظرية النسبية الخاصة كانت مغروسة في هذا التناقض.»[١] أخذ الاثنان يتناقشان لساعات طويلة في جميع أبعاد المسألة وبالأخص مفهوم نيوتن للزمان والمكان المطلقين الذي كان يتضارب مع مبدأ ماكسويل لثبات سرعة الضوء، إلى أن استسلم أينشتاين في النهاية بعد أن نال منه الإرهاق وأعلن هزيمته وطرح هذه المسألة من ذهنه.

ومع ما اعتراه من إحباط فقد ظل عقله في تلك الليلة يضطرب بما فيه من أفكار أثناء عودته إلى المنزل، وتذكر حين كان يركب الترام في بيرن وينظر إلى برج الساعة الشهير الذي يشرف على المدينة كلها، ثم فجأة دارت بخلده فكرة؛ حاول تخيل ما سيحدث إذا انطلق الترام مبتعدًا عن البرج بسرعة الضوء، وأدرك أن عقارب ساعة البرج ستظهر له متوقفة لأن الضوء لن يلحق بالترام، في حين ستظل ساعته الشخصية داخل الترام على حركتها المنتظمة.

ثم كان أن ظهر أمامه فجأة حل المسألة كلها، وهو ما نُقِلَ عنه بعد ذلك: «كان الأمر كعاصفة اجتاحت عقلي.»[٢] لقد كان الحل في منتهى البساطة

والروعة ويتمثل في أن الزمن يجري بمعدلات مختلفة في أماكن مختلفة من الكون وفقًا للسرعة التي نتحرك بها، ولفهم هذا قد نتخيل عددًا من الساعات في أماكن متفرقة من الفضاء، كل منها تشير إلى وقت مختلف وكل منها تدق بمعدل مختلف؛ إذن فالثانية على الأرض ليست بطول الثانية على القمر أو على كوكب المشتري، بل الواقع أننا كلما تحركنا بسرعة قلت سرعة الزمن. (ذات مرة قال أينشتاين مازحًا إنه في نظرية النسبية استطاع أن يضع ساعة في كل نقطة في الكون كل منها تدق بمعدل مختلف، لكنه في الحياة الواقعية لم يكن يملك المال لشراء ساعة واحدة.) معنى هذا الاستنتاج أن الأحداث التي تتزامن في إطار ما قد لا تتزامن بالضرورة في إطار آخر كما ظن نيوتن. روى أينشتاين بعد ذلك أنه شعر بالمعضلة تنحل أمامه بكل بساطة وقال عن هذا: «لقد تراءت لي فجأة فكرة تقول إن المفاهيم والقوانين التي نعتقد أنها تحكم الزمان والمكان لا تكون حقيقية إلا بقدر ارتباطها بخبراتنا ... ولقد استطعت عن طريق النظر إلى مفهوم التزامن بنظرة أكثر مرونة أن أصل إلى نظرية النسبية.»[٢]

ولتوضيح هذا دعنا نتذكر التناقض في مثال السيارة المسرعة حيث يكاد الشرطي يحاذي بسيارته شعاع الضوء المسرع، لكنه يرى الشعاع يتباعد عنه بنفس مقدار سرعة سيارته مهما زادت. الطريقة الوحيدة للتوفيق بين هاتين الصورتين تكون بإبطاء مخ الشرطي، وهو ما يعني أن الزمن يبطئ لدى الشرطي، وإذا تسنى لنا النظر إلى ساعة الشرطي من جانب الطريق لوجدناها متوقفة تقريبًا ولوجدنا تعبيرات وجهه متجمدة في الزمن، أي أننا من مكاننا رأيناه يكاد يحاذي شعاع الضوء لكن ساعته ومخه كانا شبه متوقفين، والسبب في أن الشرطي اعتقد أن شعاع الضوء يسبقه هو أن ساعته ومخه كانا يتحركان بسرعة أقل بكثير من سرعة الشعاع.

ولإكمال هذه النظرية دمج أينشتاين فيها مبدأ لورنتز-فيتزجيرالد للانكماش، عدا أنه ذكر أن المكان هو ما ينكمش لا الذرات كما اعتقد لورنتز وفيتزجيرالد (اليوم يعرف التأثير المجمع لانكماش المكان وتمدد الزمان بـ«تحول لورنتز») وكان اكتشافه هذا كفيلًا بإسقاط نظرية الأثير من الأساس، فيما بعد قال أينشتاين موضحًا السبب وراء اهتدائه إلى طريق

نظرية النسبية: «إنني أدين لماكسويل بهذا أكثر من أي أحد آخر.»[٤] والواضح أنه مع معرفته القليلة بتجربة مايكلسون-مورلي فإن الإلهام بالنسبية جاءه من معادلات ماكسويل.

وفي اليوم التالي لهذا الاكتشاف رجع إلى منزل بيسو ودون أن يلقي عليه السلام بادره قائلًا: «أشكرك، لقد حللت المعضلة كلها.»[٥] وكان أينشتاين دائمًا يتذكر ذلك الاكتشاف بفخر ويقول عنه: «كان الحل يكمن في تحليل مفهوم الزمن، فالواقع أن الزمن لا يمكن تعريفه تعريفًا مطلقًا، وأن هناك علاقة تلازم بين الزمن وسرعة الحمل.» ثم كان منه أن عكف طوال الأسابيع الستة التي تلت هذا على العمل بحماس شديد على التفصيلات الرياضية الخاصة بهذا الاكتشاف الفذ، إلى أن خرج ببحث يعتبره البعض أهم بحث علمي في التاريخ، ويذكر ابنه أنه بعد أن انتهى من هذا أوى إلى فراشه وظل راقدًا فيه لأسبوعين بعد أن أعطى البحث لميليفا لمراجعته والبحث عن أي أخطاء رياضية به، وخرجت الصورة النهائية للبحث بعنوان «إلكتروديناميكيات الأجسام المتحركة» ومع أنه كُتِب بخط غير متناسق في إحدى وثلاثين صفحة فإنه كان مسئولًا عن تغيير تاريخ العالم.

في هذا البحث لم يشر أينشتاين إلى أي فيزيائيين سابقين، بل أشار فقط إلى ميكيلي بيسو ونسب إليه الفضل في الاكتشاف (كان أينشتاين على معرفة بأعمال لورنتز الأولى في هذا الموضوع، لكنه لم يعلم شيئًا عن نظرية لورنتز للانكماش وهي النظرية التي اكتشفها وحده.) وأخيرًا نشر البحث في العدد السابع عشر من الحولية الفيزيائية Annalen der Physik في سبتمبر/أيلول من عام ١٩٠٥، والجدير بالذكر أن أينشتاين نشر ثلاثة من أبحاثه الرائدة في ذات العدد الشهير. كتب زميله ماكس بورن عن العدد السابع عشر من الحولية الفيزيائية يقول: «إنه واحد من أبرز الإصدارات في تاريخ المؤلفات العلمية؛ فقد كان يحتوي على ثلاثة أبحاث لأينشتاين كل منها يتناول موضوعًا مختلفًا، وعُدَّ كل منها عملًا فذًّا.»[٦] (بيعت نسخ من هذا العدد الشهير في أحد مزادات نيويورك عام ١٩٩٤ بخمسة عشر ألف دولار.)

استهل أينشتاين بحثه بعرض حقائق مذهلة وذكر أن نظرياته لا تنطبق على الضوء فقط بل على الكون بأكمله، ووضح أنه استقى هذه

النظريات من حقيقتين بسيطتين تنطبقان على أطر ثابتة (وهي العلاقات بين الأجسام التي تتحرك بسرعة ثابتة) وهاتان الحقيقتان هما:

(١) قوانين الفيزياء واحدة في جميع الأطر الثابتة.

(٢) سرعة الضوء ثابتة في جميع الأطر الثابتة.

ولقد صار هذان المبدآن اللذان يظن فيهما البساطة هما المحددان الرئيسيان لكل النظريات المتعلقة بطبيعة الكون منذ أعمال نيوتن، ومن خلالهما يستطيع المرء تكوين صورة جديدة عن الزمان والمكان.

في البداية أثبت أينشتاين بعبقرية أنه إذا كانت سرعة الضوء هي بالفعل ثابت طبيعي فإن نظرية تحول لورنتز هي النظرية الأكثر قبولًا، ثم بين بعد ذلك أن معادلات ماكسويل تتوافق مع هذه النظرية، وأخيرًا أظهر أن السرعات تتزايد في نمط فريد، فعلى خلاف نيوتن الذي استنتج من حركة السفن المسرعة أنه لا حدود للسرعة، استنتج أينشتاين أن سرعة الضوء هي أقصى سرعة في الكون، وللتوضيح تخيل نفسك في قلب صاروخ ينطلق من الأرض بسرعة تبلغ ٩٠٪ من سرعة الضوء، ثم تخيل أنك أطلقت رصاصة في داخل الصاروخ أيضًا بسرعة تبلغ ٩٠٪ من سرعة الضوء، طبقًا لنظرية نيوتن سوف تبلغ نسبة سرعة الرصاصة ١٨٠٪ من سرعة الضوء أي أنها ستتجاوزها، لكن أينشتاين وضح أن المقاييس سوف تقصر في هذه الحالة وسيبطؤ الزمن مما يجعل نسبة مجموع السرعتين نحو ٩٩٪ من سرعة الضوء، وأكد أنه مهما حاول المرء فلن يستطيع أبدًا أن يخرق حد سرعة الضوء لأنها السرعة المطلقة في الكون.

إننا لا نلاحظ هذه الحقائق الغريبة في حياتنا اليومية لأننا لا نتحرك بسرعة الضوء أو حتى بسرعة قريبة منها، ولهذا فإن قوانين نيوتن تنطبق على السرعات التي نتحرك بها كل يوم، ولأجل هذا لم يستطع أحد لمائتي عام كاملة أن يصحح قوانين نيوتن. لكن إذا تخيلنا أن سرعة الضوء تبلغ ٢٠ ميلًا في الساعة، فإننا سنجد السيارة المندفعة في الطريق تنضغط في اتجاه الحركة، إذا حاولت اجتياز تلك السرعة، إلى أن يصل طولها لبوصة واحدة، في حين سيظل ارتفاعها كما هو دون تغير، قد يظن البعض حينها أن عظام ركاب السيارة سوف تتحطم ويأخذون في الصراخ مع انكماشها

كآلة الأوكورديون، لكنهم في الواقع لن يشعروا بشيء لأن كل ما في السيارة بما في هذا ذرات أجسامهم سينضغط كذلك.

ومع تباطؤ سرعة السيارة إلى أن تتوقف، سوف تأخذ في التمدد مجددًا من بوصة واحدة إلى نحو ١٠ أقدام دون أن يشعر ركابها بشيء. السؤال هنا ما الذي انضغط بالضبط الركاب أم السيارة؟ وفقًا للنظرية النسبية لا توجد إجابة عن هذا السؤال لأن مفهوم الطول ليس له معنى مطلق.

وبمراجعة الأبحاث السابقة لأينشتاين يرى المرء أن هناك آخرين اقتربوا كثيرًا من اكتشاف النسبية لكنهم لم يوفقوا، فمثلًا اكتشف لورنتز وفيتزجيرالد مفهوم الانكماش نفسه لكنهما فهما النتائج التي خرجا بها فهمًا خاطئًا للغاية؛ فقد ظنا أن هذا الانكماش ما هو إلا تحول إلكتروميكانيكي شاذ للذرات لا تحول في الزمان والمكان. وكان من بين الذين اقتربوا من هذا الكشف هنري بوانكاريه الذي يعد أعظم رياضيي عصره، فقد أدرك أن سرعة الضوء لا تتغير في جميع الأطر الثابتة، بل ذكر أيضًا أن معادلات ماكسويل تتوافق مع تحول لورنتز، لكنه مع هذا رفض هو الآخر أن يهجر نظرية الأثير التي وضعها نيوتن وظن أن الظواهر الغريبة المتعلقة به ليست إلا ظواهر كهربية ومغناطيسية.

لم يتوقف أينشتاين عند هذا بل قفز قفزة مهمة بأن كتب في أواخر عام ١٩٠٥ بحثًا قصيرًا، هو أقرب في طوله إلى الحاشية، لكنه كان أيضًا سببًا في تغيير تاريخ العالم؛ جاء في هذا البحث أنه إذا كانت عقارب الساعة ومقاييس الأطوال تضطرب كلما زادت السرعة، فهذا يعني كذلك أن كل شيء يقاس بمقاييس الأطوال وبحركة عقارب الساعة يتغير بما في ذلك الطاقة والمادة، بل إن كلًّا منهما قد يتحول إلى صورة الآخر، ومثال على هذا أظهر أينشتاين أن كتلة الجسم تزيد كلما زادت سرعته (الواقع أن كتلة الجسم ستصير، نظريًّا، غير محدودة إذا ما وصلت سرعته إلى سرعة الضوء، ولأنه من المعروف استحالة هذا من الناحية العملية فهذا يثبت أنه لا يمكن لأي جسم أن يتحرك بسرعة الضوء.) وهذا يعني أن طاقة الحركة تُحَوّل بطريقة ما إلى زيادة في كتلة الجسم، أي أن الطاقة والمادة قابلان لأن يتحول أحدهما إلى الآخر، وإذا حسبنا كمية الطاقة التي تتحول إلى

كتلة حسابًا دقيقًا فسنصل إلى المعادلة الأشهر في التاريخ وهي أن الطاقة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء، $E = mc^2$. وإذا كانت سرعة الضوء فائقة وتربيعها بالتالي ضخم فهذا يعني أن مقدارًا قليلًا من المادة كاف لإطلاق طاقة هائلة؛ فمثلًا مقدار ملاعق صغيرة من المادة قد يتحول إلى عدد من القنابل الهيدروجينية، ومقدار من المادة بحجم بيت قادر على شطر كوكب الأرض إلى نصفين.

لم تكن نظرية أينشتاين بحثًا أكاديميًّا فقط؛ حيث أيقن هو أنها قد تفسر الحقيقة العجيبة التي اكتشفتها ماري كوري من أن أوقية واحدة من الراديوم قادرة على أن تشع نحو ٤٠٠٠ سعر حراري في الساعة، وهو ما يبدو مناقضًا لأول قوانين الديناميكا الحرارية الذي ينص على أن الكمية الكلية للطاقة ثابتة ولا تفنى. واستنتج أينشتاين أنه لا بد أن تقل كتلة الراديوم بمقدار طفيف وهي تشع تلك الطاقة (وهذا المقدار من الصغر بحيث لم تكن الأدوات المستخدمة عام ١٩٠٥ قادرة على اكتشافه.) كتب أينشتاين يقول: «كانت تلك الفكرة ممتعة وجذابة، لكنني لم أكن أعرف هل هي بالفعل صحيحة أم أن الرب يضحك منها ويدفعني لأن أتوغل في طريق الضلال.»[٧] لأنه كان يعلم أنه لا سبيل متاح في زمنه للتحقق من افتراضاته تلك أو كما قال: «إن التثبت من هذه النظرية هو على الأرجح يتجاوز حدود العلم المعاصر.»[٨]

وصار أينشتاين يسأل لماذا لم يلحظ أحد هذه الطاقة غير المستغلة من قبل؟ ويقارن هذا بموقف رجل شديد الثراء يكتم ثراءه بألا ينفق قرشًا من أمواله.

كتب بانيش هوفمان أحد تلاميذ أينشتاين يقول: «تخيلوا الجرأة التي تحلى بها ليقدم على مثل هذه الخطوة ... لقد كان يقول إن كل حفنة تراب، وكل ريشة، وكل ذرة غبار هي مصدر هائل لطاقة غير مستغلة، ولم يكن هناك في ذلك الوقت سبيل لإثبات هذا، لكن أينشتاين عام ١٩٠٧ أعلن أن هذه النتيجة هي أهم النتائج التي خرجت بها نظرية النسبية. لقد تجلت موهبته الفريدة في بعد الرؤية في أنه لم يتم التحقق من معادلته ... إلا بعد نحو ربع قرن.»[٩]

ومرة أخرى كان مبدأ النسبية سببًا في حدوث مراجعات مهمة للنظريات الفيزيائية القديمة، ففي السابق كان الفيزيائيون يؤمنون بمبدأ بقاء الطاقة الذي ينص على أن الكمية الكلية للطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم، والآن صاروا يرون أن الكمية الكلية المجمعة من المادة والطاقة هي التي تبقى.

غير أن عقل أينشتاين الذي لا يهدأ اصطدم بمسألة أخرى في ذات العام وهي التأثير الكهروضوئي؛ كان هاينريش هيرتز قد لاحظ عام ١٨٨٧ أنه إذا ارتطم شعاع ضوئي بمعدن فهو قادر على أن يخلق تيارًا كهربيًّا صغيرًا تحت ظروف معينة، وهذا المبدأ هو الذي تعمل وفقه معظم الأجهزة الإلكترونية في العصر الحديث؛ فالخلايا الشمسية في الآلات الحاسبة تحوّل أشعة الشمس العادية إلى طاقة كهربية تشغلها، وكاميرات التلفاز تمتص أشعة الضوء من الجسم الذي يُصَوَّر وتحولها إلى تيارات كهربية تصل في النهاية إلى شاشات أجهزة التلفاز في بيوتنا.

لكن حتى مطلع القرن العشرين ظل هذا الأمر لغزًا محيرًا؛ فبطريقة ما يُزيح شعاع الضوء إلكترونات المعدن، لكن أحدًا لم يعرف كيف يحدث هذا؟ اعتقد نيوتن أن الضوء يتكون من عناصر صغيرة أسماها «الجسيمات»، لكن بقية الفيزيائيين كانوا يعتقدون أن الضوء موجة طاقتها مستقلة عن ترددها طبقًا للنظرية الموجية التقليدية؛ فمثلًا مع أنه للضوءين الأحمر والأخضر ترددان مختلفان فإنه من المفترض أن تكون طاقتهما واحدة، وهذا يعني أنه حين يصطدم كل منهما بقطعة من المعدن لا بد أن تكون طاقة الإلكترونات المزاحة واحدة كذلك. وبالمثل، كما قالت النظرية الموجية التقليدية، إذا زدنا من كثافة شعاع الضوء بزيادة عدد المصابيح فسوف تزيد طاقة الإلكترونات المزاحة، إلا أن تجارب فيليب لينارد أظهرت أن طاقة الإلكترونات المزاحة تتوقف على التردد أو على لون شعاع الضوء لا على الكثافة وهو ما يناقض النظرية الموجية.

حاول أينشتاين أن يفسر التأثير الكهروضوئي عن طريق «نظرية الكم»، التي كانت قد اكتشفت لتوها عام ١٩٠٠ على يد ماكس بلانك، كان بلانك قد قام بواحدة من أكبر الثورات على الفيزياء التقليدية بافتراضه

أن الطاقة ليست كمًّا سلسًا كالسوائل، بل توجد في حزم محددة منفصلة يسمى كل منها «كوانتم»، وأن طاقة كل كوانتم تتناسب مع تردده. مثل هذا الثابت النسبي ثابتًا طبيعيًّا جديدًا وسُمِّي «ثابت بلانك». والواقع أن مفهوم الذرة والكوانتم هو مفهوم على قدر من الغرابة، وهذا لعدة أسباب، أحدها أن ثابت بلانك عدد صغير جدًّا. استنتج أينشتاين أنه إذا كانت الطاقة تتوزع على حزم منفصلة فلا بد أن الضوء كذلك يتوزع. (فيما بعد أطلق على وحدات أو جسيمات الضوء الكمية اسم «الفوتون»، وكان من اصطك لها هذا الاسم العالم الكيميائي جيلبرت لويس عام ١٩٢٦.) واستنتج أينشتاين أنه إذا كانت طاقة الفوتون تتناسب مع تردده فإن طاقة الإلكترونات المزاحة لا بد أن تتناسب مع ترددها كذلك على خلاف ما تقول به النظريات الفيزيائية الكلاسيكية. (من الملاحظات الطريفة أنه في حلقات المسلسل التليفزيوني الشهير «ستار تريك» نرى طاقم السفينة الفضائية الإنتربرايز يطلقون «طوربيدات فوتونية» على الأعداء، أما في الواقع فإننا نعرف أن أبسط أنواع الطوربيدات الفوتونية هي المصابيح اليدوية.)

خرجت فكرة أينشتاين الجديدة التي هي نظرية كم خاصة بالضوء بافتراض مباشر يمكن التحقق منه بالتجربة؛ فعن طريق زيادة تردد شعاع الضوء نستطيع قياس الارتفاع السلس الذي يحدث في شدة التيار الكهربي في المعدن، نشر هذا البحث التاريخي (الذي سيفوز عنه بجائزة نوبل في الفيزياء بعد ذلك) في التاسع من يونيو/حزيران عام ١٩٠٥ بعنوان «نظرة استكشافية على إنتاج وتحول الضوء»، في هذا البحث ولد الفوتون وولدت معه نظرية الكم الخاصة بالضوء.

وفي مقال آخر ألفه في ذات «عام المعجزات» ١٩٠٥ تعرض أينشتاين لمسألة أخرى وهي مسألة الذرة؛ فمع أن النظرية الذرية نجحت لحد بعيد في تحديد خصائص الغازات والتفاعلات الكيميائية فإنه لم يكن هناك أي دليل مباشر على وجود الذرة كما ظل ماخ ومعه كثيرون يرددون على الدوام. أدرك أينشتاين أننا قد نستطيع إثبات وجود الذرة بملاحظة أثرها على جسيمات صغيرة في سائل كما في «الحركة البراونية» التي سميت باسم عالم النبات روبرت براون والتي يقصد بها الحركات المحدودة والعشوائية

للجسيمات الصغيرة الموجودة في سائل ما، وكان براون قد اكتشف هذه الحركة من ملاحظة حبوب لقاح دقيقة تحت مجهر فرآها تقوم بحركات غريبة وعشوائية، في البداية ظن براون أن هذه الحركات المتعرجة تتماثل مع حركات الخلايا النطفية، لكنه وجد جسيمات الزجاج والجرانيت تسلك ذات المسلك.

خمن البعض أن الحركة البراونية مردها إلى التصادم العشوائي للجزيئات، لكن لم يستطع أحد أن يصوغ نظرية منطقية لهذه الفكرة. أما أينشتاين فقد اتخذ خطوة حاسمة واستنتج أنه مع كون الذرات أصغر من أن تلاحظ فإننا نستطيع تقدير حجمها والتعرف على سلوكها عن طريق حساب تصادمها الجماعي مع الأجسام الكبيرة. وإذا صحت النظرية الذرية فلا بد أن تكون قادرة على حساب الأبعاد الفيزيائية للذرة عن طريق تحليل الحركة البراونية. وبافتراض أن الاصطدام العشوائي لتريليونات تريليونات جزيئات الماء يسبب حركة عشوائية لجسيمات التراب استطاع أينشتاين أن يحسب حجم الذرة ووزنها، وبذلك قدّم دليلًا دامغًا على وجودها.

كان أقل ما يمكن أن يقال عن هذا الكشف إنه مذهل؛ فقد استطاع أينشتاين بمجرد النظر خلال مجهر بسيط أن يقدر احتواء جرام واحد من الهيدروجين على ٣,٠٣ × ١٠^٢٣ من الذرات وهذا رقم قريب للقيمة الحقيقية، نشر البحث بعنوان «حركة الجسيمات الصغيرة في السوائل الساكنة من خلال النظرية الحرارية لحركة الجزيئات» في ١٨ يوليو/تموز، وقدمت هذه الدراسة الموجزة أول دليل تجريبي على وجود الذرة. (ومن المفارقات أنه في العام الذي تلا حساب أينشتاين لوزن الذرة انتحر الفيزيائي لودفيج بولتزمان الذي مهد الطريق للنظرية الذرية وكان من أسباب انتحاره ما لقيه من سخرية عندما حاول تطوير نظريته.) وبعد أن نشر أينشتاين أبحاثه الأربعة التاريخية قدم نسخة أولية من أطروحته للدكتوراه لألفريد كلاينر الأستاذ المشرف عليه تتناول موضوع حجم الجزيء، وفي تلك الليلة ظل هو وميليفا يشربان ويسكران طوال الليل.

رُفِضت أطروحته في البداية، لكن في ١٥ يناير/كانون الثاني مُنح درجة الدكتوراه من جامعة زيورخ وصار قادرًا على أن يسمي نفسه د. أينشتاين.

لقد كان مولد علم الفيزياء الحديث في بيت أينشتاين رقم ٤٩ بشارع كرامجاسى في بيرن (اليوم يسمى هذا المكان «بيت أينشتاين» والناظر من خلال نافذته بديعة التصميم التي تقابل الشارع يرى لافتة تقول: خلف هذه النافذة ولدت نظرية النسبية، وعلى الجدار الآخر يرى صورة للقنبلة الذرية.)

لكل هذه الوقائع التي حدثت به كان عام ١٩٠٥ بحق عام المعجزات في تاريخ العلم، ولا يقارن به إلا عام ١٦٦٦ الذي اكتشف فيه إسحق نيوتن، وهو ابن ثلاثة وعشرين عامًا، القانون الكوني للجاذبية، وحسابات التفاضل والتكامل، ووضع نظريته للون.

اختتم أينشتاين عام ١٩٠٥ بوضع نظرية الفوتون، وتقديم الدليل على وجود الذرة، وإسقاط الأطر العامة لنظريات نيوتن، وهي إنجازات يستأهل كل منها احتفاءً عالميًّا، لكنه أصيب بالإحباط للتجاهل والصمت اللذين قوبلت بهما أعماله، فما كان منه بعد أن فترت عزيمته إلا أن أولى اهتمامه لحياته الشخصية بتربية ابنه والكد في عمله بمكتب براءات الاختراع، معتقدًا أنه كان واهمًا حين ظن في نفسه القدرة على أن يصير رائدًا للفيزياء في العصر الحديث.

لكنه في مطلع عام ١٩٠٦ تلقى أول تجاوب مع إنجازاته في شكل رسالة من العالم الذي قد يعتبر أهم فيزيائيي عصره وهو ماكس بلانك، والذي أدرك على الفور النتائج المتطرفة التي تنطوي عليها دراسات أينشتاين، وكان ما جذب انتباه بلانك للنظرية النسبية هو أنها قدمت الكم — وهو في هذه النظرية سرعة الضوء — على أنه ثابت أساسي في الطبيعة، كان ثابت بلانك قد رسم الحدود بين العالم الذي نعرفه وعالم الكوانتم الذي هو دون الذرة، ولأن هذا الثابت على قدر كبير من الصغر فإننا بمنأى عن الخصائص الغريبة للذرة. ثم جاءت دراسات أينشتاين وأحس بلانك عند اطلاعه عليها أنها بالمثل تعامل سرعة الضوء على أنها ثابت طبيعي، مع أننا بمنأى أيضًا عن عالم الفيزياء الكونية الغريب بسبب سرعة الضوء الهائلة.

فكر بلانك أن هذين الثابتين — ثابته وثابت سرعة الضوء — قد هدما الحدود السابقة للمعقول وهدما معها نظريات نيوتن. إننا غير قادرين على

أن نشهد الطبيعة الغريبة للحقائق الفيزيائية بسبب صغر ثابت بلانك وكبر سرعة الضوء، وإذا كانت النسبية تتجاوز حدود المعقول فهذا لأننا نعيش في ركن ضيق معزول من أركان الكون حيث السرعات بطيئة بالمقارنة بسرعة الضوء، والأجسام كبيرة إلى درجة لا تمكننا من رؤية ثابت بلانك، غير أن الطبيعة لا تتوقف عند حدود المعقول بل تتجاوزه إلى خلق عالم يقوم على الجزيئات دون الذرية التي تتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء وتتوافق مع نظرية بلانك.

وفي صيف عام ١٩٠٦ بعث بلانك بمساعده ماكس فون لاوي لمقابلة ذلك الموظف الحكومي الغامض الذي برز من العدم ليناقض قوانين نيوتن، كان لقاؤهما محددًا في حجرة الانتظار بمكتب براءات الاختراع، لكن المفارقة أن كلًّا منهما مر أمام الآخر دون أن يعرفه، ففون لاوي توقع شخصًا مهيبًا يطل الحزم من قسمات وجهه، لكنه اندهش حينما قدم له أينشتاين نفسه، فلم يجد إلا موظفًا حكوميًّا شابًّا يرتدي ملابس العامة، لكنهما صارا بعد هذا اللقاء صديقين عزيزين (حدث أثناء هذا اللقاء أن قدم أينشتاين لفون لاوي سيجارًا لكن الأخير كان يعرف السيجار الرديء حين يراه فما كان منه إلا أن غافل أينشتاين وألقاه في نهر آر وهما يعبران الجسر الممتد فوقه.)

وبعد أن نالت أعمال أينشتاين مباركة ماكس بلانك بدأت شيئًا فشيئًا تجذب انتباه فيزيائيين آخرين، وكان من بينهم أحد أساتذة أينشتاين القدامى في معهد بوليتكنيك وهو العالم الرياضي هرمان مينكوفسكي، وهو نفسه الذي لقبه قبل ذلك بـ«الكلب الكسول» حينما كان يتغيب عن محاضراته. اهتم أستاذ الرياضيات بأعمال تلميذه السابق بل طوّر معادلات نظرية النسبية محاولًا إعادة صياغة ما قاله أينشتاين من أن الزمان والمكان يمكن أن يتحول كل منهما إلى الآخر بزيادة السرعة، صاغ مينكوفسكي هذا الكلام بلغة رياضية وخلص إلى أن الزمان والمكان يشكلان معًا وحدة رباعية البعد، وكان من نتائج هذا الاستنتاج أن أصبح الجميع يتحدث عن البعد الرابع.

لتوضيح هذا دعنا نتأمل أي خريطة وسنجد بها إحداثيين، هما الطول والعرض، مسئولين عن تحديد أي نقطة عليها، إذا أضفنا إحداثيًّا ثالثًا وهو

الارتفاع فسنستطيع تحديد مكان أي جسم في الفضاء يقع بين أرنبة أنفنا ونهاية الكون، وهذا يعني أن العالم الذي نراه حولنا هو عالم ثلاثي الأبعاد، لكن بعض كتاب الخيال العلمي مثل إتش جي ويلز قالوا إنه يمكن اعتبار الزمن بعدًا رابعًا، وهو ما يعني أنه يمكن تحديد مكان أي حدث يقع عن طريق تعيين إحداثياته ثلاثية البعد وزمن وقوعه، ولهذا فإذا أردت أن تقابل شخصًا ما في نيويورك مثلًا فقد تقول له «قابلني في تقاطع الشارع الثاني والأربعين مع الجادة الخامسة في الطابق العشرين وقت الظهر»، وهكذا فقد حُدّد الموقع من خلال أربعة أرقام، لكن بعد ويلز الرابع لم يكن إلا فكرة فارغة من أي مضمون رياضي أو فيزيائي.

لكن مينكوفسكي أعاد صياغة معادلات أينشتاين ليكشف عن ذلك الهيكل الجميل رباعي الأبعاد الذي يجعل من الزمان والمكان نسيجًا واحدًا، وكتب يقول: «لقد آن لنا اليوم أن ننظر إلى الزمان والمكان على أنهما وحدة واحدة لا كيانين منفصلين.»[١٠]

لم يقتنع أينشتاين في البداية بهذا الكلام بل كتب ساخرًا منه: «إن المهم هو المحتوى لا المعادلات الرياضية؛ فبالرياضيات يستطيع المرء أن يثبت أي شيء يريده.»[١١] كان أينشتاين يؤمن بأنه في جوهر النسبية توجد مبادئ الفيزياء الأساسية، لا تلك الفكرة الرياضية رباعية البعد والتي هي، مع ما تحمله من جمال، غير ذات معنى، حتى إنه كان يقول عن تلك الفكرة إنها «معرفة لا نفع منها»[١٢]، وكان يؤمن أن الأهم من هذا هو الوصول إلى صور بسيطة وواضحة، مثل تسارع القطارات وهبوط المصاعد، وانطلاق الصواريخ، ثم تأتي الرياضيات في المرتبة الثانية من حيث الأهمية، ولم يكتف بهذا بل قال كذلك إن الأمر لا يتطلب إلا حسابات بسيطة أشبه بالحسابات التجارية لفهم الصور الفيزيائية.

واستمر أينشتاين في سخريته فكتب: «منذ أن بدأ الرياضيون يتناولون نظرية النسبية لم أعد أنا نفسي أفهمها.»[١٣] غير أنه بمرور الوقت بدأ يدرك أهمية أعمال مينكوفسكي ودلالاتها الفلسفية العميقة، وكان ما أتى به مينكوفسكي هو توضيح إمكانية توحيد مفهومين يبدوان مختلفين باستغلال قوة التماثل؛ فالزمان والمكان صارا الآن يصوران كحالتين مختلفتين لكيان

واحد، وبالمثل يمكن الربط بين المادة والطاقة، وبين الكهرباء والمغناطيسية عن طريق البعد الرابع، وصار «التوحيد بالتماثل» من المبادئ المرشدة لأينشتاين لما بقي من حياته.

لنفترض أن لدينا كتلة من الثلج، إذا أدرنا هذه الكتلة بمقدار ٦٠ درجة فسوف تظل كما هي، ومن وجهة النظر الرياضية يسمى الكيان الذي يظل على صورته الأولى بعد أن يدار «متغيرًا مشاركًا». وضح مينكوفسكي أن معادلات أينشتاين ككتل الثلج تظل متغيرات مشاركة بينما يدار الزمان والمكان بصفتهما رباعيي الأبعاد.

كان هذا إيذانًا بمولد مبدأ فيزيائي جديد ينص على أن «المعادلات الفيزيائية لا بد أن تكون متغيرات مشاركة لتحويلات لورنتز» أي أن تظل على صورتها الأولى بعد أي تحول، وهو المبدأ الذي ساهم في تنقيح نظرية أينشتاين، ولقد أقر أينشتاين في وقت لاحق بأنه لولا حسابات مينكوفسكي الرياضية لظلت النسبية «طفلة في مهدها»[١٤]. أهم ما في الموضوع أن النظرية رباعية البعد أتاحت للفيزيائيين أن يختصروا معادلات النسبية في صيغة مركزة، فمثلًا استطاعوا اختصار معادلات ماكسويل التفاضلية الجزئية، التي يجد فيها كل مهندس كهربائي وكل طالب فيزياء مشقة عظيمة، من ثمان معادلات إلى معادلتين فقط (الواقع أن المرء ليستطيع أن يبرهن، باستخدام النظرية رباعية البعد، على أن معادلات ماكسويل هي الأبسط في وصف الضوء.) وللمرة الأولى صار الفيزيائيون ينظرون باهتمام لقوة التماثل ويحسبون حسابها في معادلاتهم. وحينما يتحدث الفيزيائيون عن «الجمال والأناقة» في الفيزياء فإنهم يعنون بذلك أن التماثل يسمح لهم بتوحيد عدد كبير من الظواهر والمفاهيم المتنوعة في صيغة مركزة ومختصرة، «وكلما كانت المعادلة جميلة انطوت على قدر أكبر من التماثل ومن الإيجاز في شرح أكبر عدد ممكن من الظواهر.»

أي أن قوة التماثل تتيح لنا توحيد أجزاء متفرقة وجمعها في كل متناغم ومتكامل، وبالعودة إلى مثال تدوير كتلة الثلج الذي يسمح لنا برؤية الوحدة القائمة بين كل نقطة من نقاطها، نجد أن تدويرها في فضاء رباعي البعد يوحد مفهومي الزمان والمكان محولًا كلًّا منهما إلى الآخر بزيادة سرعة

التدوير، وقد كان هذا المفهوم الجميل الأنيق هو ما ظل المرشد لأينشتاين لخمسين سنة لاحقة.

لكن ما إن انتهى أينشتاين من نظرية النسبية الخاصة حتى بدأ يفقد اهتمامه بها مفضلًا التأمل في مسألة أكثر عمقًا تتعلق بالجاذبية والتسارع، وهي المسألة التي لم تكن تقع ضمن نطاق نظريته، كان أينشتاين كالأب العطوف الذي أنجب طفلًا ففرح به لكنه سرعان ما أدرك ما به من عيوب وحاول تصحيحها (والحديث سيطول عن هذا الموضوع فيما بعد).

وفي تلك الأثناء بدأت تظهر أدلة تجريبية تؤكد بعض أفكاره وترفع من مكانته بين مجتمع المشتغلين بالفيزياء؛ فقد أعيد إجراء تجربة مايكلسون-مورلي أكثر من مرة، وفي كل مرة كانت تخرج بذات النتيجة السلبية ملقية بظلال الشك على نظرية الأثير من أساسها، وفي الوقت نفسه أكدت التجارب التي أجريت على التأثير الكهروضوئي صحة معادلات أينشتاين، ليس هذا فحسب بل إن التجارب التي أجريت على الإلكترونات فائقة السرعة أثبتت أن ما قاله من أن كتلة الإلكترون تزيد كلما زادت سرعته صحيح، وبزيادة الأدلة التي تعزز صحة نظريته وجد أينشتاين في نفسه الجرأة كي يتقدم بطلب للعمل كمحاضر في جامعة بيرن القريبة من محل إقامته، كانت هذه الوظيفة أقل مكانة من وظيفة أستاذ لكنها تسمح له بمواصلة عمله في مكتب براءات الاختراع بجانبها، ومن بين الأبحاث المنشورة التي قدمها للجامعة لدى تقدمه لها أطروحة نظرية النسبية، في بادئ الأمر رفض طلبه رئيس قسم الفيزياء آيم فوستر الذي قال إن نظرية النسبية نظرية تستعصي على الفهم، غير أنه تقدم مرة ثانية فقبل.

وعام ١٩٠٨، ومع تنامي اليقين لدى العلماء بأن أينشتاين قام بإنجازات مهمة وغير مسبوقة في الفيزياء، بدأ القائمون على جامعة زيورخ يفكرون جديًّا في منحه وظيفة أرفع مكانة، لكنه كان في منافسة على هذه الوظيفة مع أحد معارفه القدامى وهو فريدريش أدلر؛ كان كلاهما يهوديًّا وهو ما كان يعتبر وقتها من المعايب، لكن أدلر ملك نقطة تفوق وهو أنه ابن مؤسس الحزب الاشتراكي النمساوي الذي يتعاطف معه كثير من أساتذة جامعة زيورخ، ولهذا فقد توقع الكثيرون أن يتم تخطي أينشتاين، لكن

المفاجأة أن أدلر نفسه هو من دافع عن أحقية أينشتاين في تقلد الوظيفة؛ فقد كان رجلًا حصيفًا واستطاع أن يقدر شخصية أينشتاين حق قدرها كما كتب يقول عن قدراته المذهلة كفيزيائي: «لقد لقي أسوأ معاملة من أساتذته ... ولم يكن يجيد التعامل مع ذوي الأهمية.»[١٥] وبسبب التضحية النادرة التي بذلها أدلر تقلد أينشتاين الوظيفة وما لبث أن بدأ رحلة ارتقائه السلم الأكاديمي بسرعة خارقة. وهكذا عاد إلى زيورخ لكنه عاد هذه المرة أستاذًا جامعيًّا، لا فيزيائيًّا عاثر الحظ عاطلًا عن العمل، وسرعان ما وجد مسكنًا في زيورخ وفرح أشد الفرح حين وجد أدلر يسكن في الطابق الأسفل منه مباشرة ومن وقتها صارا من أعز الأصدقاء.

وعام ١٩٠٩ ألقى أينشتاين محاضرته الأولى في أول مؤتمر فيزيائي كبير يحضره، وقد عُقد في سالزبرج، كان من بين الحضور عدد كبير من العلماء المرموقين ومن ضمنهم ماكس بلانك. وخلال المحاضرة التي كان عنوانها «تطوير رؤانا المتعلقة بطبيعة الإشعاع وقوانينه» قدم إلى العالم معادلته الشهيرة $E = mc^2$ وأظهر شديد حماسه لها. صعق أينشتاين الذي اعتاد الاقتصاد في طعامه من فخامة المؤتمر وبذخه حتى إنه بعدها بسنوات تذكره وقال عنه: «خُتم المؤتمر في الفندق الوطني بوليمة عامرة لم أشهد مثلها في حياتي. وشجعني هذا على أن أتحدث لواحد من نبلاء جنيف كان يجلس بجواري فقلت له: أتعرف ماذا كان كالفن سيصنع لو كان معنا؟... كان سيقيم خازوقًا عظيمًا ويحرقنا عليه جميعًا عقابًا لنا على هذا الترف الآثم. بعدها لم يخاطبني النبيل بكلمة طوال الجلسة.»[١٦]

كانت محاضرة أينشتاين هي المرة الأولى في التاريخ التي يشرح فيها أحد ما مبدأ «الازدواجية» في الفيزياء، الذي ينص على أن الضوء قد يكون مزدوج الخصائص بصفته موجة كما قال ماكسويل في القرن الماضي أو بصفته جزيئًا كما اقترح نيوتن. والطريقة التي يرى بها الضوء تعتمد على طبيعة التجربة المجراة؛ ففي التجارب منخفضة الطاقة التي يكون فيها الطول الموجي لشعاع الضوء كبيرًا تكون الصورة الموجية هي الأكثر فائدة، أما في التجارب عالية الطاقة التي يكون فيها الطول الموجي لشعاع الضوء صغيرًا جدًّا تكون الصورة الجزيئية هي الأنسب، ولقد ثبت أن هذا المفهوم

(الذي سينسب بعد ذلك للفيزيائي الدنماركي نيلز بور) من أهم المفاهيم المتعلقة بطبيعة المادة والطاقة، علاوة على أنه واحد من أثرى مصادر البحث في نظرية الكم.

ظل أينشتاين على سلوكه البوهيمي بل إنه ازداد فيه غلوًّا، مع أنه صار الآن أستاذًا، ويصف أحد تلاميذه مظهره في أولى محاضراته بالجامعة قائلًا: «أتانا في قاعة الدرس يرتدي حلة مهلهلة وبنطالًا قصيرًا للغاية وفي يده ورقة بحجم بطاقة دعوة كتب فيها أهم نقاط المحاضرة.»[١٧]

وعام ١٩١٠ ولد ابنه الثاني إدوارد. وكان أينشتاين — ذلك الرحالة الذي لا يستقر في مكان — يبحث وقتها عن وظيفة جديدة لأن بعض الأساتذة الآخرين يحاولون استبعاده من الجامعة على ما يبدو، وفي العام التالي عرضت عليه الجامعة الألمانية وظيفة في معهد براغ للفيزياء النظرية براتب أعلى من راتبه الحالي فقبلها، وكان مكتبه الجديد يجاور مصحة عقلية، فكان أثناء تفكيره في غوامض الفيزياء كثيرًا ما يسرح بخياله ويسأل نفسه إذا ما كان نزلاء تلك المصحة هم العقلاء وغيرهم هم المجانين.

وفي ذات عام ١٩١١ حضر أينشتاين مؤتمر سولفاي الأول الذي أقيم في مدينة براسلس بتمويل من رجل صناعة بلجيكي ثري يدعى إرنست سولفاي، وفي هذا المؤتمر أُلْقِيَ الضوء على أعمال رواد الفيزياء في العالم. لقد كان أهم المؤتمرات العلمية في ذلك العصر وفيه سنحت لأينشتاين الفرصة ليقابل عمالقة الفيزياء ويتبادل معهم الآراء العلمية؛ فقد التقى بماري كوري الفائزة بجائزة نوبل مرتين ونمت بينهما صداقة استمرت مدى الحياة. جذبت نظريتا النسبية والفوتون محور الاهتمام في ذلك المؤتمر الذي كان عنوانه «نظرية الإشعاع والوحدات الكمية».

من المسائل التي نوقشت في المؤتمر مسألة «تناقض التوأم» الشهيرة، كان أينشتاين قد تعرض للتناقضات الغريبة التي تتعلق بإبطاء الزمن، وكان الفيزيائي بول لانجفين هو أول من أشار لتناقض التوأم هذا وعرض لتجربة بسيطة تكشف تناقضًا في نظرية النسبية (وكانت الصحف في ذلك الوقت تمتلئ بقصص مثيرة عن لانجفين الذي يعيش حياة زوجية تعيسة

ومتورط في علاقة مشينة مع الأرملة ماري كوري.) افترض لانجفين أن هناك توأمين يعيشان على كوكب الأرض، سافر أحدهما بسرعة تقترب من سرعة الضوء ثم عاد إلى الأرض بعد مرور خمسين سنة على الكوكب، لكن لأن الزمن يبطؤ في الصاروخ فإن التوأم الراكب فيه لم يكبر سوى عشر سنين، لذا فحين يلتقيان سيكون أصغر من أخيه بأربعين سنة كاملة.

والآن لنتأمل وضع الأخ الراكب في الصاروخ، فهو شعر بأنه في حالة سكون والأرض هي التي انطلقت مبتعدة، ومعنى هذا أن ساعة أخيه الذي بقي على الأرض هي التي ستبطؤ، وعندما يلتقيان مرة أخرى يجب أن يكون الأخ الذي بقي على الأرض هو الأصغر لا الذي سافر في الصاروخ، لكن إذا كان يفترض بالحركات أن تكون نسبية فالسؤال هنا هو أي الأخوين هو الأصغر بالفعل؟ ولأن الموقفين متماثلان فلا يزال هذا السؤال حتى اليوم يؤرق أي طالب علم حاول أن يدرس نظرية النسبية.

أجاب أينشتاين عن هذا السؤال بأن الأخ الذي في الصاروخ هو من تزايدت سرعته لا الأخ الآخر، هذا بخلاف أن الصاروخ يجب عليه أن يبطئ سرعته ثم يتوقف ثم يرجع في عكس الاتجاه الأول، وهو الأمر الذي يسبب ضغطًا شديدًا على راكب الصاروخ مما ينزع سمة التماثل عن الموقف؛ حيث يحدث التسارع الذي لم تتناوله فرضيات النسبية الخاصة لراكب الصاروخ فقط الذي هو بالفعل الأصغر.

(غير أن الموقف سيزداد تعقيدًا إذا لم يرجع راكب الصاروخ؛ ففي تلك الحالة سوف يرى كل من الأخوين توأمه من خلال تليسكوب يبطئ الزمن، ولأن الموقفين في هذه الحالة سيكونان متماثلين تمامًا، فحينها سيرى كل منهما أخاه أصغر منه، وبالمثل سيرى كل منهما أخاه منكمشًا، إذن فأيهما في الحقيقة هو الأصغر والأنحف؟ ومع ما يبدو في الكلام من تناقض شديد فنظرية النسبية تسمح بأن يكون الأخوان التوأم كلاهما أصغر وأنحف من الآخر، والسبيل الأبسط لتحديد أيهما بالفعل الأصغر والأنحف في هذه التناقضات هو الإتيان بالأخوين معًا، وهذا يتطلب جر أحدهما بسلسلة، الأمر الذي سيحدد بدوره أيهما يتحرك «بالفعل».

وقد أوجد أينشتاين حلولًا لهذه التناقضات العجيبة بطريقة غير مباشرة من خلال دراساته المتعلقة بالإشعاعات الكونية ومفتتات الذرة. لكن تأثير هذه التناقضات كان ضئيلًا جدًّا حتى إنه لم يُرَ بشكل مباشر وتجريبي إلا عام ١٩٧١ عندما أجريت تجربة بأن حملت طائرات بساعات ذرية وانطلقت بسرعات هائلة في الفضاء، ولأن هذه الساعات قادرة على قياس الوقت بدقة فلكية فقد استطاع العلماء بمقارنة اثنتين من هذه الساعات أن يتوصلوا إلى أن الوقت يمضي ببطء كلما زادت سرعة الحركة، بالضبط كما توقع أينشتاين).

لنتناول مثالًا آخر عن التناقض يتضمن جسمين كل منهما أقصر من الآخر،[١٨] إذا تخيلنا صيادًا يحاول أن يسجن نمرًا طوله ١٠ أقدام في قفص عرضه قدم واحد فقط، في الحالات العادية يكون هذا مستحيلًا، لكن تخيل أن هذا النمر تحرك بسرعة شديدة حتى إن طوله انكمش إلى قدم واحد فقط وصار من الممكن أن يقع القفص عليه فيسجنه، وما إن يتوقف النمر عن الحركة حتى يعود للتمدد مرة أخرى، وإذا كان القفص مصنوعًا من حبال مجدولة فسيمزقها جسد النمر، أما إذا كان مصنوعًا من الخرسانة فسوف ينسحق جسد النمر المسكين بين جنباته.

ولنتأمل الموقف من منظور النمر؛ إذا كان النمر في سكون فإن القفص هو الذي تحرك وانكمش إلى جزء من عشرة أجزاء من القدم، إذن كيف يمكن لقفص بهذا الحجم الصغير أن يطبق على نمر طوله عشرة أقدام؟ الإجابة هي أن القفص أثناء سقوطه يتقلص في اتجاه الحركة فيصير متوازي أضلاع أو مربعًا مائل الأضلاع، ومعنى هذا أن نهايتي القفص لا تسقطان على النمر في ذات الوقت. وإذا كان القفص مصنوعًا من حبال مجدولة فسوف يرتطم حده الأمامي بأنف النمر أولًا قبل أن يتمزق، وباستمرار سقوط القفص يستمر في التمزق حول جسد النمر حتى يرتطم حده الخلفي بذيله. أما إذا كان مصنوعًا من الخرسانة فسوف يكون أنف النمر هو أول ما ينسحق، ثم تنسحق المزيد من أجزاء جسمه مع سقوط القفص، حتى يقع حده الأخير على ذيل النمر.

ولم تشغل هذه التناقضات بال العلماء فقط بل أيضًا جذبت انتباه العامة، حتى إن إحدى المجلات الفكاهية نشرت قصيدة طريفة من عدة أبيات جاء فيها:

ذات مرة كان هناك سيدة تدعى برايت[١٩]
تستطيع هذه السيدة أن تسبق الضوء
سافرت يومًا بطريقة نسبية
وعادت في الليلة الماضية

في تلك الأثناء كان صديقه القديم مارسيل جروسمان يشغل وظيفة أستاذ في معهد بوليتكنيك وسأل أينشتاين هل يريد وظيفة في معهده القديم، كأستاذ هذه المرة، وكان ما في جعبة أينشتاين من خطابات تزكية يضمن له أي وظيفة يريدها، ومنها خطاب كتبته ماري كوري قالت فيه: «إن علماء الفيزياء الرياضية قد أجمعوا على قيمة وأهمية إنجازاته.»[٢٠]

وهكذا رجع إلى زيورخ بعد ستة عشر شهرًا فقط قضاها في براغ، وكانت عودته مرة أخرى إلى معهد بوليتكنيك (ابتداءً من عام ١٩١١ تغير اسمه إلى المعهد السويسري الفيدرالي للتكنولوجيا) كأستاذ مرموق تمثل نصرًا شخصيًّا لأينشتاين؛ فقد تركه مجللًا بالخزي بعد أن أفسد بعض الأساتذة أمثال فيبر مستقبله المهني، لكنه عاد إليه رائدًا لثورة جديدة في عالم الفيزياء. وفي ذات السنة رُشِّح لأول مرة لجائزة نوبل، لكن أفكاره كانت لا تزال تبدو على قدر كبير من الراديكالية في عيون أعضاء الأكاديمية السويدية، وهناك بعض الأصوات المعارضة بين حائزي الجائزة السابقين الذين كانوا يريدون إقصاءه عن سباق الترشح للجائزة، ولهذا لم تذهب جائزة نوبل لعام ١٩١٢ إلى أينشتاين بل إلى نيلز جوستاف دالين لمجهوداته في تطوير المنارات. (المفارقة أن المنارات اليوم صارت شيئًا من الماضي بعد أن استبدل بها نظام تحديد الموقع بالأقمار الصناعية الذي يقوم في الأساس على نسبية أينشتاين.)

وخلال السنة التالية ازدادت شهرة أينشتاين زيادة كبيرة حتى إنه بدأ يتلقى عروضًا من برلين؛ بدا ماكس بلانك حريصًا على أن يضم ذلك النجم

الصاعد في سماء الفيزياء إلى فريقه، وألمانيا وقتها صاحبة الريادة في بحوث الفيزياء بلا منازع، وبرلين هي مقر معظم هذه البحوث. تردد أينشتاين في أول الأمر لأنه كان قد تخلى عن جنسيته الألمانية ولا يزال يحمل بعضًا من ذكريات الطفولة القاسية في ذلك البلد، لكن العرض كان مغريًا جدًّا.

وعام ١٩١٣ انتخب أينشتاين عضوًا في الأكاديمية البروسية للعلوم ثم عرض عليه أن يشغل وظيفة في جامعة برلين مديرًا لمعهد القيصر فيلهلم للفيزياء. وبخلاف هذه الألقاب التشريفية — التي لم يكن أينشتاين يعبأ بها كثيرًا — كان لهذه الوظيفة ميزة مهمة وهي أنها لا تلزمه بالتدريس (هذا مع أنه كان محاضرًا محبوبًا بين تلاميذه حيث كان يعاملهم بعطف واحترام، لكن مع هذا كان التدريس يلهيه عن همه الأساسي وهو نظرية النسبية العامة.)

وبالفعل انتقل إلى برلين عام ١٩١٤ وقابل أساتذة المعهد، وشعر وقتها بشيء من العصبية عندما شاهد نظرتهم إليه وهو ما أشار إليه حين كتب: «كان سادة برلين يقامرون عليّ كما لو كنت دجاجة تبيض ذهبًا، أما أنا فلم أكن أعرف هل سأبيض بيضة أخرى.»[٢١] لكن ذلك الشاب الثائر ذا الخمسة وثلاثين ربيعًا كان عليه أن يتكيف بسرعة مع طباع أعضاء الأكاديمية البروسية الصارمة فأحدهم ينادي الآخر بـ«حضرة المستشار» أو «معاليك»، بل إن أينشتاين قال ذات مرة: «بدا لي أن معظم هؤلاء يحرصون على أن تكون كتاباتهم على قدر كبير من الترفع الذي هو أشبه بترفع الطواويس، وإلا صاروا كالبشر الطبيعيين.»[٢٢]

لكن مسيرة النجاح التي قطعها أينشتاين من مكتب براءات الاختراع في بيرن إلى أعلى المناصب العلمية في ألمانيا لم تأت دون ثمن، ففي تلك السنوات التي علا فيها اسمه بدأت عرى حياته الأسرية في التفسخ، لقد شهدت تلك السنوات أهم إنجازاته وأغزرها التي كان من شأنها بعد ذلك أن تغير وجه العالم، ولهذا فليس من شك أنها تطلبت منه جهودًا شبه مستحيلة وأبعدته عن زوجته وأولاده.

كتب أينشتاين يقول إن العيش مع ميليفا صار كالعيش في مقبرة، حتى إنه كان إذا وجد نفسه معها بمفردهما في المنزل يحاول أن يتجنب

البقاء معها في غرفة واحدة، واختلف أصدقاؤهما حول أيهما السبب في هذا الجفاء، فكثير منهم لام ميليفا لأنها صارت أكثر انعزالًا وأكثر نقمة على زوجها المشهور، وحتى أصدقاؤها صاروا مستاءين لأن الشيب ظهر عليها واضحًا خلال تلك السنوات القليلة وصارت عديمة الاهتمام بمظهرها، وصارت ميالة للصياح وباردة الطبع غيورة من كل شيء حتى من الوقت الذي يقضيه زوجها مع زملائه، حتى إنها ذات مرة وجدت خطاب تهنئة أرسلته لزوجها امرأة تدعى آنا شميد (وكان أينشتاين قد عرفها لفترة قصيرة حين كان في أراو إلى أن تزوجت) فلم تستطع أن تتمالك أعصابها وثارت ثورة عارمة ربما كانت الأكبر في تاريخ زواجهما المتزعزع.

لكن من ناحية أخرى رأى البعض أن أينشتاين بدوره ليس بالزوج المثالي فهو كثير الترحال ودائمًا ما يترك ميليفا تربي أطفاله بمفردها، وفي ذلك الوقت كان السفر صعبًا وبطيئًا ويبعده عنها لأيام وأسابيع، لذا فقد كان كالضيف يأتي فقط في الليل فلا يرى أحدهما الآخر إلا على العشاء أو عندما يذهبان للمسرح، ولقد كان شديد الانغماس في العالم الرياضي المجرد ولم تكن لديه أي طاقة عاطفية يتواصل بها مع زوجته، بل الأسوأ من هذا أنه كلما أبدت ميليفا تذمرها من غيابه المستمر زاد انسحابه من حياتها إلى عالمه الفيزيائي.

ومن الإنصاف أن نقول إن في كلا الرأيين شيئًا من الحقيقة، ومن الخطأ إلقاء اللوم على أحد الطرفين دون الآخر، والمتابع لحياتهما يدرك أن هذا التوتر الذي شهده زواجهما كان محتومًا، وربما كان أصدقاؤهما القدامى على حق عندما قالوا قبل سنين كثيرة إنهما شخصيتان متنافرتان.

غير أن القشة التي قصمت ظهر البعير كانت قبوله لوظيفة برلين، لم تكن ميليفا راغبة على الإطلاق في الذهاب إلى برلين، حيث كانت فكرة أن تعيش، وهي امرأة سلافية، في مركز الثقافة التيوتونية فكرة مخيفة لها، والأهم من هذا أن العديد من أقارب أينشتاين كانوا يعيشون في تلك المدينة، وخشيت أن تكون عرضة لنظراتهم الساخطة، فلم يكن يخفى عليها عدم رضا عائلة زوجها عنها، لكن مع ذلك ذهبت هي وأولادها إلى برلين مع أينشتاين، غير أنها فجأة عادت مرة أخرى إلى زيورخ وأخذت أولادها معها،

ولم يجتمعوا معًا بعد ذلك أبدًا. سبب هذا صدمة لأينشتاين الذي لم يحب شيئًا في الدنيا قدر حبه لأولاده، وبعد هذه الحادثة أُجْبِرَ على أن تكون علاقته بأولاده عن بعد، فيقطع رحلة شاقة تستغرق عشر ساعات من برلين إلى زيورخ كلما أراد أن يزور ابنيه. (تروي مساعدته هيلين دوكاس أنه عندما نالت ميليفا حق حضانة الأولاد ظل يبكي طوال الطريق إلى منزله.)

لكن هناك سببًا آخر ساهم على الأرجح في تعميق الصدع بين الزوجين، تمثل ذلك السبب في إحدى قريبات أينشتاين التي كانت ذات حضور زائد ملحوظ في حياة أينشتاين ببرلين، وهو الأمر الذي اعترف به قائلًا: «لقد عشت حياة منعزلة جدًّا، لكني مع ذلك لم أكن وحيدًا لما لقيته من رعاية كريمة من إحدى قريباتي وهي التي زينت لي السفر إلي برلين منذ البداية.»[٢٢]

كانت إلسا لوفنتال ذات قرابة مزدوجة بأينشتاين؛ فهي ابنة خالته، وجده شقيق لجدها، وهي مطلقة تعيش مع ابنتيها مارجو وإلسي في الطابق الأعلى من بيت والديها (خالة أينشتاين وزوجها)، التقت بأينشتاين لقاء قصيرًا حين زار برلين عام ١٩١٢، وفي ذلك الوقت قرر أن زواجه بميليفا انتهى ولم يعد هناك بد من الطلاق، لكنه يخشى من تبعاته على ولديه الصغيرين.

ومذ كانا صغيرين كانت إلسا معجبة بأينشتاين بل إنها اعترفت أنها وقعت في حبه عندما سمعته يعزف ألحان موتسارت حين كان طفلًا، لكن أكثر ما جذبها إليه على الأرجح هو نجمه الصاعد في سماء الوسط الأكاديمي والمكانة العالية التي يتمتع بها بين فيزيائيي العالم، ولم تُخْفِ هي أنها تود لو نالت قسطًا من شهرته. كانت إلسا مثل ميليفا تكبر أينشتاين بأربع سنوات، لكنها لم تشترك معها في أي صفة أخرى على الإطلاق، بل هي على النقيض منها تمامًا؛ كانت ميليفا لا تهتم عادة بمظهرها وتبدو دائمًا منهكة، أما إلسا فسيدة برجوازية بمعنى الكلمة وتعرف جيدًا متطلبات الطبقة الاجتماعية التي تنتمي إليها، وهي على الدوام حريصة على أن تكوّن معارف لها في المجتمعات العلمية ببرلين وتتفاخر أمامهم بأينشتاين، وعلى خلاف ميليفا التي كانت صموتًا عكرة المزاج، كانت إلسا كائنًا اجتماعيًّا تتنقل كالفراشة بين الحفلات والعروض المسرحية دون كلل، ولم تيأس من

إصلاح عادات أينشتاين كما يئست ميليفا، بل كانت أقرب إلى أمه فنجحت في تعديل سلوكياته وسخرت كل طاقاتها لمعاونته في إكمال رسالته، ولخص صحفي روسي العلاقة التي جمعت أينشتاين بإلسا في سطور قليلة فكتب: «كانت لا تحمل لزوجها العظيم سوى الحب، ودائمًا تحميه من متاعب الحياة وتؤمن له راحة البال اللازمة لنمو أفكاره العبقرية، وأدركت جيدًا ما يحتاجه كمفكر ولذلك فقد كانت تحوطه بحنانها الأمومي ورقتها وتعامله كطفل كبير.»[٢٤]

وبعد أن غادرت ميليفا برلين غاضبة عام ١٩١٥ ومعها الأولاد ازداد أينشتاين قربًا من إلسا، لكن ما شغله في تلك الفترة المهمة لم يكن الحب وإنما الكون.

الجزء الثاني

الصورة الثانية: الزمكان المنحني

الفصل الرابع

النسبية العامة و«أسعد أفكار حياتي»

لم يكتف أينشتاين بكل الإنجازات العظيمة التي حققها والتي جعلته واحدًا من أهم فيزيائيي عصره؛ فقد كان يدرك أنه لا تزال هناك على الأقل ثغرتان كبيرتان في نظريته النسبية، أولاهما هي أن تلك النظرية تقوم كلية على الحركات القصورية، في حين لا تكاد تلك الحركات توجد في الطبيعة؛ فكل شيء في تسارع مطرد كحركات القطارات المتسارعة، والحركات المتعرجة التي تتخذها أوراق الأشجار الساقطة، ودوران الأرض حول الشمس، وحركة الأجرام السماوية، وقد فشلت النسبية في تفسير أكثر حركات التسارع شيوعًا على الأرض.

أما الثغرة الثانية فهي أن النسبية لم تتناول الجاذبية لا من قريب ولا من بعيد، مع أنها، كما ادعت، تشرح التماثل الكوني للطبيعة وتصلح لتفسير جميع الظواهر الكونية، إلا أن الجاذبية بدت خارج نطاقها، وهذا شيء محرج لأن الجاذبية ظاهرة معروفة وأثرها واضح في كل مكان، ولهذا فقد كان قصور نظرية النسبية أوضح من أن ينكر. إذا كانت سرعة الضوء هي أقصى سرعات الكون كما تقول نظرية النسبية فهذا يعني أن أي اضطراب يحدث في الشمس سيصل إلى الأرض بعد ثماني دقائق، لكن هذا يتعارض مع نظرية الجاذبية التي وضعها نيوتن والتي نصت على لحظية تأثيرات الجاذبية. (لم يشر نيوتن إلى سرعة الضوء في معادلاته وهو ما يجعلنا نستنتج أنه اعتبر سرعة الجاذبية الأرضية غير محدودة.) وهكذا كان على أينشتاين أن يفحص معادلات نيوتن فحصًا دقيقًا لكي يوفق بينها وبين نظريته عن سرعة الضوء.

الخلاصة أن أينشتاين أدرك عظم المشكلة التي ستنتج إذا حاول تعميم النسبية على ظاهرتي التسارع والجاذبية، ولهذا فقد أعاد تسمية نظريته القديمة التي أتى بها عام ١٩٠٥ مطلقًا عليها اسم «نظرية النسبية الخاصة» كي يفرق بينها وبين النظرية القوية التي يحتاجها لوصف الجاذبية والتي سمّاها «نظرية النسبية العامة»، وعندما أفضى إلى ماكس بلانك بهدفه من النظرية الجديدة حذره الأخير قائلًا: «بصفتي صديقك الأكبر منك سنًّا عليّ أن أحذرك منذ البداية بأنك لن تنجح في مسعاك، وحتى إن نجحت فلن يصدقك أحد.»[١] لكن مع هذا كان بلانك يدرك جيدًا حجم المشكلة الموجودة في النسبية الخاصة، وهو ما تبين مما قاله بعد ذلك لأينشتاين: «إذا حالفك التوفيق ونجحت في هذا فسوف تصير كوبرنيكوس الثاني.»

ولقد جاء الإلهام الأول بهذه النظرية إلى أينشتاين عام ١٩٠٧ حينما كان لا يزال يعمل موظفًا حكوميًّا مطحونًا في مكتب الاختراعات ببيرن، يروي أينشتاين قصة هذه الفكرة قائلًا: «كنت أجلس على كرسيي في مكتب براءات الاختراع في بيرن عندما خطر ببالي خاطر على حين غرة فروعني، وهو أنه إذا سقط شخص ما سقوطًا حرًّا فلن يشعر بوزن جسده. تركت هذه الفكرة البسيطة أثرًا عميقًا في نفسي ووضعتني على أول الطريق للوصول إلى نظرية للجاذبية الأرضية.»[٢]

كانت لحظة واحدة استنتج أينشتاين فيها أنه إذا سقط من على كرسيه فسوف يصبح على الفور عديم الوزن، ولفهم هذه الفكرة تخيل نفسك في مصعد ثم حدث أن انقطعت حباله وسقط فجأة، في هذه اللحظة سوف تسقط سقوطًا حرًّا بنفس معدل سقوط أرضية المصعد، ولأنك والمصعد تسقطان بنفس المعدل فسوف تسبح في الهواء كما لو كنت عديم الوزن. وبالمثل أدرك أينشتاين أنه إذا سقط من فوق الكرسي فسوف يدخل في حالة السقوط الحر مما يلغي تأثير الجاذبية عليه مع التسارع المطرد في سرعته ويجعله يبدو بلا وزن.

على أن هذا المفهوم لم يكن جديدًا إذ سبق أن أشار إليه جاليليو كما تقول القصة المشكوك في صحتها حين ألقى حجرًا صغيرًا وقنبلة مدفع ضخمة من فوق برج بيزا المائل، وعن طريق تلك التجربة كان أول من

يثبت أن جميع الأجسام مهما كان ثقلها تسقط بنفس معدل السرعة بتأثير الجاذبية (٣٢ قدمًا في الثانية المربعة). ولقد لاحظ نيوتن أيضًا هذا الأمر حينما أدرك أن الكواكب ومعها القمر توجد في حالة سقوط حر في مداراتها حول الشمس أو حول الأرض. وكل إنسان ارتاد الفضاء الخارجي يعرف أن التسارع يلغي تأثير الجاذبية؛ فهو حين يكون داخل الصاروخ المنطلق إلى الفضاء يجد نفسه وكل ما في الصاروخ من أجسام ومن بينها الأرضية والأدوات يسقطون سقوطًا حرًّا بنفس المعدل، ولهذا يجد كل ما حوله يطير في الهواء، وحتى أقدامه ترتفع تلقائيًّا فوق الأرضية لأن الأرضية ذاتها تسقط مع جسمه، وهو ما يوحي إيحاءً خادعًا بأن تأثير الجاذبية انعدم. وإذا خرج رائد الفضاء من الصاروخ أثناء طيرانه في الفضاء فلن يهوي مباشرة إلى الأرض بل سيطفو في الجو بجانب الصاروخ، لأنه والصاروخ يسقطان معًا سقوطًا متناغمًا حتى أثناء دورانهما حول الأرض. (لا تختفي الجاذبية في الفضاء الخارجي كما تزعم بعض الكتب العلمية خطأ؛ فجاذبية الشمس قادرة على جذب كوكب بلوتو والحفاظ عليه في مداره، وهو الذي يبعد مليارات الأميال عن الأرض، كل ما هنالك أن تأثيرها ينعدم بسبب سقوط الصاروخ تحت قدمي رائد الفضاء.)

يسمى هذا المبدأ بـ«مبدأ التكافؤ» وينص على أن الكتل جميعها تسقط بنفس المعدل تحت تأثير الجاذبية (بعبارة أكثر تحديدًا نقول إن كتلة القصور تساوي كتلة الجاذبية.) لكن هذه الفكرة القديمة التي لم يجد فيها جاليليو ونيوتن إلا حقيقة مثيرة لبعض الاهتمام فقط، فتحولت على يد أينشتاين إلى الأساس الذي ارتكزت عليه نظرية النسبية العامة للجاذبية؛ فقد خرج أينشتاين من هذه الحقيقة باستنتاج مهم وهو أنه «لا يمكن التمييز بين القوانين الفيزيائية في إطار التسارع أو إطار الجاذبية.» وقد كان هذا الاستنتاج هو ما قاده إلى نظريات المكان المنحني، والثقوب السوداء، ومولد الكون.

استغرقت تلك الفكرة العبقرية التي راودت أينشتاين عام ١٩٠٧ في مكتب براءات الاختراع أعوامًا عديدة كي تتطور، فقد أخذ شيئًا فشيئًا يكون مفهومًا جديدًا للجاذبية مستقيًا إياه من مبدأ التكافؤ، لكن هذا المفهوم لم

يؤت ثمارًا إلا بحلول عام ١٩١١. كانت أولى النتائج التي خرج بها من مبدأ التكافؤ هو أن الضوء ينحني بتأثير من الجاذبية، وهي فكرة قديمة تعود إلى زمن نيوتن على الأقل الذي طرح في كتابه «البصريات» سؤالًا عما إذا كانت الجاذبية تؤثر على أشعة الضوء حيث قال: «ألا تؤثر حركة الأجسام على ضوء النجوم من مسافة كبيرة وتكسر أشعتها، وألا يقوى هذا التأثير كلما اقتربت المسافة؟»[٢] لكن للأسف لم تكن التكنولوجيا المتاحة في القرن السابع عشر تسمح بالإجابة عن هذه الأسئلة.

لكن بعد أكثر من مائتي عام عاد هذا السؤال ليراود أينشتاين هذه المرة، والآن لنتخيل أننا أضأنا مصباحًا يدويًّا داخل صاروخ ينطلق بتسارع في الفضاء الخارجي، حينها سنجد شعاع الضوء يسقط للأسفل لأن الصاروخ ينطلق للأعلى. الآن نشرك مبدأ التكافؤ الذي ينص على أن القوانين الفيزيائية داخل الصاروخ لا تختلف عن القوانين الفيزيائية على الأرض، وهو ما يعني أنه «لا بد للجاذبية أن تجعل الضوء ينحني.» ومن خلال خطوات قليلة وبسيطة استطاع أينشتاين أن يكتشف ظاهرة فيزيائية جديدة وهي أن الضوء ينحني بتأثير الجاذبية، وأدرك على الفور أن هذا التأثير يمكن حسابه بدقة.

من المتعارف عليه أن الشمس هي مصدر أكبر مجال جاذبية في النظام الشمسي بأكمله، وهي الحقيقة التي جعلت أينشتاين يسأل نفسه: هل جاذبية الشمس كافية لجعل أشعة الضوء المنبعثة من النجوم البعيدة تنحني؟ يمكن التحقق من هذا بالتقاط صورتين فوتوغرافيتين لمجموعة معينة من النجوم في توقيتين مختلفين؛ الصورة الأولى تلتقط في الليل حيث لا يكون هناك ما يعوق ضوء النجوم، أما الصورة الثانية فتلتقط بعد الأولى بعدة أشهر حينما تكون الشمس متعامدة مع ذات المجموعة النجمية، ومن خلال مقارنة الصورتين قد نستطيع تحديد مدى الإزاحة التي حدثت لضوء النجوم في اتجاه الشمس بفعل جاذبيتها، ولأن ضوء الشمس يطغى على ضوء النجوم فلا يمكن إجراء مثل تلك التجربة إلا وقت كسوف شمسي حين يعوق القمر ضوء الشمس وتظهر النجوم واضحة في وقت النهار. استنتج أينشتاين أنه بمقارنة الصورة التي التقطت في وقت الكسوف بالصورة التي

التقطت لذات المجموعة النجمية في وقت الليل سيظهر أن ضوء النجوم قد تحرك قليلًا في اتجاه الشمس. (للقمر أيضًا جاذبية تحني ضوء النجوم لكنها ضئيلة التأثير مقارنة بتأثير جاذبية الشمس، ولهذا فلا يتأثر انحناء الضوء وقت الكسوف بجاذبية القمر.)

ساعد مبدأ التكافؤ أينشتاين على حساب تقريبي لحركة أشعة الضوء بينما تحنيها قوى الجاذبية إلا أنه لم يبيّن له ماهية الجاذبية نفسها، وما كان ينقصه في هذه المرحلة هي نظرية مجالات للجاذبية. ذكرنا سابقًا أن معادلات ماكسويل خرجت بالنظرية الأولى للمجالات التي تنتظم فيها خطوط القوى كشبكة العنكبوت بحيث تتذبذب وينتج عن تذبذبها موجات تنتقل على طول خطوط القوى، كان أينشتاين يبحث عن نظرية مجالات تستطيع خطوط قواها أن تدعم تذبذبات الجاذبية التي تتحرك بسرعة الضوء.

ومع دنو عام ١٩١٢ وبعد سنوات قضاها في التفكير العميق بدأ أينشتاين يدرك أنه يحتاج لمراجعة المفاهيم السائدة عن الزمان والمكان، ولتحقيق هذا وجد أنه يحتاج إلى نظريات هندسية جديدة تذهب إلى ما وراء تلك النظريات التي ورثها العالم عن الإغريق القدامى. كانت الملاحظة الأساسية التي أثارت في ذهنه فكرة الزمكان المنحني تتمثل في تناقض يعرف بـ«تناقض إيرينفست» الذي بينه له صديقه بول إيرينفست، يتبين هذا التناقض لنا إذا تأملنا قرصًا يدور أو عجلة الخيل الدوارة في ملاهي الأطفال؛ من المعروف أنه في حالة السكون يكون محيط العجلة مساويًا لعدد ط مضروبًا في قطرها، لكن العجلة حين تبدأ في الدوران يتحرك حدها الخارجي بسرعة أكبر من داخلها وهو ما يعني، طبقًا للنظرية النسبية، أن الجزء الخارجي سينكمش بقدر أكبر من الجزء الداخلي مما يغير شكل العجلة تمامًا، أي أن محيط العجلة سوف ينكمش ويصير أقل من حاصل ضرب ط في قطرها، وحينها لن يظل سطح العجلة مسطحًا، أي أن «المكان انحنى». ويمكننا أن نقارن عجلة الخيل بالدائرة القطبية، فباستطاعتنا أن نقيس قطر الدائرة القطبية بالسير من نقطة معينة على الدائرة إلى نقطة مقابلة لها مرورًا بالقطب الشمالي، ثم يمكن أن نقيس محيطها، وإذا قارنا

القطر بالمحيط فسنجد أن الأخير يقل عن حاصل ضرب ط في الأول لأن سطح الأرض منحنٍ. لكن المشكلة أنه طوال الألفي عام المنصرمة اعتمدت أعمال جميع الرياضيين والفيزيائيين على الهندسة الإقليدية التي تقوم على الأسطح المستوية، السؤال هنا: ماذا سيحدث إذا تخيلنا هندسة تقوم على الأسطح المنحنية؟

وإذا خرجنا بنتيجة أن المكان قابل للانحناء فستظهر لنا صورة جديدة مدهشة على الفور؛ تخيل حجرًا ثقيلًا موضوعًا على فراش، سوف يغوص الحجر بالطبع في حشية الفراش، ارمِ بلية صغيرة على الحشية حينها ستجدها تسير في خط منحن حول الحجر. هناك طريقتان لتحليل هذا التأثير، الطريقة الأولى التي تساير رؤى نيوتن تفترض أن هناك «قوة» خفية تنبعث من الحجر مجبرة البلية على أن تغير مسارها، وهذه القوة غير مرئية ومع ذلك تصل إلى البلية وتجذبها إليها. أما الطريقة الثانية القائمة على النسبية فترى صورة مختلفة تمامًا إذ لا تفترض وجود أي قوة تتحكم في البلية، بل تفسر الظاهرة بحدوث انخفاض في سطح الحشية يجبر البلية على أن تغير حركتها؛ فأثناء تحرك البلية «يشدها» سطح الحشية حتى تتخذ مسارًا دائريًّا.

الآن لنفترض أن الحجر هو الشمس، والبلية هي الأرض، والحشية هي الزمان والمكان؛ لو تكلم نيوتن لقال إن هناك قوة غير مرئية تسمى «الجاذبية» تشد الأرض وتجعلها تدور حول الشمس، لكن أينشتاين سيرد عليه بقوله إنه ليس في هذه الصورة أي قوة شد متعلقة بالجاذبية على الإطلاق؛ فالأرض تدور حول الشمس لأن انحناء المكان نفسه هو الذي يدفع الأرض، أي أن قوى الجاذبية لا تشد بل المكان هو الذي يدفع.

من خلال تلك الصورة استطاع أينشتاين تفسير السبب في أن أي اضطراب يحدث في الشمس يستغرق ثماني دقائق كي يصل إلى الأرض، ولتوضيح هذا نعود للمثال السابق ونفترض أننا رفعنا الحجر عن الحشية، حينها سنجد سطحها يرتفع إلى وضعه الأول محدثًا تموجات تتحرك بسرعة محددة على امتداد ذلك السطح، وبالمثل إذا اختفت الشمس فسوف ينتج عن هذا موجة صادمة تتكون من حيز مكاني منحن تتحرك بسرعة الضوء.

كانت هذه الصورة من البساطة والأناقة أن استطاع أينشتاين أن يشرحها لابنه الأصغر إدوارد حينما سأله ذات يوم عن سبب شهرته فقال له: «إذا زحفت خنفساء عمياء على فرع شجرة منحن فلن تلاحظ انحناءه، ولقد أسعدني الحظ فلاحظت ما لم تلاحظه الخنفساء.»[٤]

كان نيوتن قد أقر في مؤلفه الأعظم «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية» أنه لم يستطع تفسير أصل هذه القوة الجاذبة التي ينتشر تأثيرها في جميع أرجاء الكون وقال حينها عبارته الشهيرة: «ليست لديّ أي فرضية أفترضها.» لكن أعمال أينشتاين قد بينت لنا أن سبب الجاذبية هو انحناء الزمان والمكان، وأن مفهوم «القوة» ما هو إلا وهم نتج عن النظريات الهندسية القديمة، وطبقًا للنظرية الجديدة لا يتمثل سبب وقوفنا على الأرض في أن الجاذبية الأرضية تشدنا لأسفل، بل لأن الأرض تحني الزمكان حول أجسادنا وهو ما يدفعنا نحوها، وهذا يعني أن وجود المادة هو ما يحني المكان حولها ويوهمنا بأن هناك قوة جذب تشد ما حولها من أجسام.

لكن هذا الانحناء بالطبع غير مرئي، ولهذا فإذا نظرنا إلى هذه المسألة نظرة سطحية قد تبدو لنا نظرية نيوتن صحيحة، لتوضيح هذا دعنا نتخيل مجموعة من النمل تمشي على سطح ورقة مجعدة، في حين يحاول هذا النمل المشي في خط مستقيم، يجد نفسه ينجر ذات اليمين وذات الشمال بفعل الثنيات الموجودة في الورقة؛ يظن النمل أن هناك قوة خفية تشده في كلا الاتجاهين، لكن الناظر من نقطة مرتفعة يدرك أنه لا توجد أي قوى بل هي ثنيات الورقة التي تدفع النمل إلي تلك الاتجاهات. تذكر أن نيوتن اعتبر الزمان والمكان معيارين مطلقين للحركة بشكل عام، لكن أينشتاين افترض أنهما يلعبان دورًا ديناميكيًّا؛ فإذا كان المكان منحنيًا فلا بد أن كل ما يتحرك عليه سيفترض أن هناك قوة تدفعه في اتجاه ما.

ولأن أينشتاين أراد إثبات أن الزمكان هو كالنسيج الذي يمط وينثني فقد كان عليه أن يدرس رياضيات الأسطح المنحنية، وسرعان ما وجد نفسه غارقًا في مستنقع الرياضيات غير قادر على إيجاد الأدوات المناسبة لتحليل تصوره الجديد للجاذبية، وصار الآن بعدما كان يزدري الرياضيات ويسميها «معرفة لا نفع منها» يدفع ثمن تجاهله لمحاضراتها أثناء دراسته في معهد بوليتكنيك.

وبعد أن كاد اليأس يتملكه توجه إلى صديقه مارسيل جروسمان وقال له: «جروسمان عليك أن تساعدني وإلا سيصيبني الجنون.»[٥] «فلم يحدث قبل هذا أن عذبني شيء كما عذبتني الرياضيات التي صرت أكن لها كل الاحترام الآن بعد أن كنت أعتبرها ترفًا لا طائل منه. إن نظرية النسبية الأولى مقارنة بالمشكلة التي أنا بصددها الآن ما هي إلا لعبة أطفال.»[٦]

وعندما رجع جروسمان إلى المراجع الرياضية وجد مفارقة تتمثل في أن القواعد التي احتاجها أينشتاين كانت تدرس بالفعل في المعهد متعدد العلوم؛ ففي النظرية الهندسية التي وضعها برنارد رايمان عام ١٨٥٤ اهتدى أينشتاين أخيرًا إلى القواعد التي تستطيع وصف انحناء الزمكان. (بعد ذلك بسنوات قال أينشتاين لمجموعة من تلاميذ المرحلة المتوسطة وهو يتذكر مدى الصعوبة التي لقيها في تعلم نظرية رياضية جديدة: «لا تقلقنكم الصعوبة التي تجدونها في الرياضيات، فإنني لا أزال أعاني منها أكثر مما تعانون»[٧]).

فيما قبل رايمان كانت الرياضيات تقوم على الهندسة الإقليدية، نسبة إلى إقليدس، وهي هندسة الأسطح المستوية، ولآلاف السنين ظل تلاميذ المدارس يقاسون صعوبة النظريات الهندسية الإغريقية ذات القداسة التي تنص على أن مجموع الزوايا الداخلية لأي مثلث تساوي ١٨٠ درجة، وعلى أن الخطوط المتوازية لا تتلاقى أبدًا. لكن اثنين من الرياضيين هما الروسي نيكولاي لوباشفسكي ورياضي آخر ينتمي إلى الإمبراطورية النمساوية المجرية يسمى يانوس بولياي اقتربا كثيرًا من التوصل إلى نظرية هندسية غير إقليدية تنص على أن مجموع زوايا المثلث قد تزيد أو تنقص عن ١٨٠ درجة. لكن من وضع تلك النظرية بالفعل كان «أمير الرياضيات» كارل فريدريش جاوس وتلميذه وصاحب الفضل الأكبر فيها رايمان. (رأى جاوس أن النظرية الإقليدية يمكن أن تكون غير صحيحة حتى على مستوى القواعد الفيزيائية، وأجرى تجربة للتحقق من هذا بأن جعل مساعده يطلق أشعة ضوئية من فوق قمم جبال هارتس محاولًا حساب مجموع زوايا المثلث الذي تكونه ثلاث من قمم الجبال، وللأسف أتت النتائج سلبية. وكان جاوس رجلًا ذا حس سياسي فلم ينشر أبحاثه حول هذا الموضوع الحساس خشية أن يثير غضب العلماء المحافظين الذين يقسمون بحياة الهندسة الإقليدية.)

أما رايمان فقد اكتشف عوالم رياضية جديدة تمامًا تتمثل في هندسة الأسطح المنحنية التي توجد في أي بعد مكاني وليس فقط في بعد واحد أو اثنين، ورأى أينشتاين أن هذه النظرية الهندسية المتقدمة سوف تقدم وصفًا أكثر دقة للكون. ولأول مرة استخدمت المصطلحات الرياضية للهندسة التفاضلية في علم الفيزياء، وقد كانت الهندسة التفاضلية أو حساب الممتدات التي تهتم بحسابات الأسطح المنحنية يومًا ما فرعًا رياضيًّا «عديم الفائدة» وليس له أي قيمة فيزيائية، لكنه صار فجأة اللغة التي يتحدث بها الكون.

في معظم الكتب التي تتناول سيرة أينشتاين تعرض نظرية النسبية العامة في صورتها النهائية التي صارت عليها عام ١٩١٥ كما لو كان أينشتاين قد اكتشفها دفعة واحدة بطريقة سحرية دون أن يجرب ويخطئ، لكن خلال العقد الماضي حُلِّلت بعض مفكرات أينشتاين التي عثر عليها، ومن خلال هذا التحليل تم التوصل إلى بعض الحلقات المفقودة بين عامي ١٩١٢ و١٩١٥، وصار من الممكن تتبع مراحل التطور التي مرت بها تلك النظرية، أحيانًا شهرًا بشهر، والتي تعتبر واحدة من أعظم النظريات في تاريخ البشر. كان أينشتاين يهدف تحديدًا إلى تعميم فكرة المتغير المشارك للورنتز حتى يتسنى للمعادلات الفيزيائية أن تبقى على صورتها داخل إطار تحويلات لورنتز، أي أن يعمم هذه الفكرة على جميع التسارعات والتحويلات الممكنة وليس فقط على التسارعات والتحويلات القصورية، بعبارة أخرى نقول إنه كان يريد الخروج بمعادلات تظل بصيغة واحدة مهما كان المعيار المرجعي الذي تقاس مقارنة به سواء كان متسارعًا أو يتحرك بسرعة ثابتة، وكل معيار مرجعي يحتاج نظامًا إحداثيًّا لقياس الأبعاد الثلاثة للزمان والمكان. وكان مطلب أينشتاين هو إيجاد نظرية تظل على ثباتها في أي إحداثيات زمانية أو مكانية مستخدمة لتقدير المعيار المطلق، ولقد قاده هذا إلى مبدأ المتغير المشارك الشهير الذي ينص على أن «المعادلات الفيزيائية يجب أن تكون متغيرات مشاركة بشكل عام.» (أي أنها تظل على ذات صيغتها في ظل أي تغير عشوائي للإحداثيات.)

للتوضيح تخيل أنك رميت شبكة صيد على سطح مائدة، تمثل شبكة الصيد نظام الإحداثيات العشوائي، ويمثل سطح المائدة شيئًا يظل ثابتًا

مهما تغير وضع شبكة الصيد؛ فمهما عوجنا الشبكة أو جعدناها فسيظل سطح المائدة كما هو.

وعلى هذا بدأ أينشتاين عام ١٩١٢ في دراسة نظريات رايمان الهندسية بعد أن أدرك أنها الأصلح للتعبير عن الجاذبية باحثًا عن المتغيرات المشاركة ومسترشدًا بقانونها. المدهش أنه لم يجد إلا اثنين من المتغيرات المشاركة فقط وهما كتلة المكان المنحني وانحناء المكان نفسه (الذي يسمى بـ«انحناء ريتشي»)، ولقد كان لهذا أعظم الفائدة بأن حُدِّدت القواعد الممكنة التي لا يمكن استخدام غيرها في إقامة نظرية الجاذبية، ولهذا فقد استطاع أينشتاين أن يصوغ النظرية الصحيحة عام ١٩١٢ بعد أشهر قليلة من دراسة مؤلفات رايمان التي تعتمد على «انحناء ريتشي». لكنه لسبب ما تخلى عن هذه النظرية وأخذ يطارد فكرة أخرى غير صحيحة، أما عن السبب في هذا فقد ظل لوقت طويل لغزًا محيرًا للمؤرخين ولم يحل إلا حديثًا بعدما عُثِرَ على الدفاتر المفقودة، في ذلك العام، بعدما بنى أينشتاين الهيكل الأساسي لنظرية الجاذبية اعتمادًا على انحناء ريتشي، وقع في خطأ كبير؛ فقد ظن أن هذه النظرية تناقض المبدأ المعروف بـ«مبدأ ماخ»[٨]، وهذا المبدأ يقول في إحدى فرضياته إن وجود المادة والطاقة في الكون هو فقط ما يحدد مجال الجاذبية الذي يحيط بهما، أي أننا إذا حددنا أشكالًا معينة للكواكب والنجوم فسوف نستطيع أن نحدد مجالات الجاذبية المحيطة بها، بالضبط كما هو الأمر حين تلقي حصاة في بركة، فكلما كبر حجم الحصاة كبر حجم دوائر الماء التي تنتج عن هذا، لذا إذا استطعنا تحديد حجم الحصاة بالضبط فسنستطيع تحديد حجم الدوائر المائية، وبالمثل إذا استطعنا تحديد كتلة الشمس فسنجد السبيل الوحيد لتحديد مجال الجاذبية المحيط بها.

وكان هذا هو الخطأ الذي وقع فيه أينشتاين فقد اعتقد أن نظريته التي تعتمد على انحناء ريتشي تخالف مبدأ ماخ حينما تقول إن وجود المادة والطاقة ليس هو السبيل الوحيد لتحديد مجال الجاذبية المحيط بهما، لذا فقد حاول مع صديقه جروسمان أن يضعا نظرية ذات أهداف أكثر تواضعًا، نظرية توجد فيها المتغيرات المشاركة في حالة التدوير فقط (لا في حالات التسارع بشكل عام). وبعد أن تخلى عن مبدأ المتغير المشارك فقد

دليله الذي كان يهتدي به وقضى ثلاث سنوات يعتريه فيها الإحباط تائهًا وراء نظرية أينشتاين-جروسمان التي لم تكن مفيدة أو حتى منطقية، بل إنها فشلت في تطبيق معادلات نيوتن على المجالات الصغرى للجاذبية، لكن أينشتاين أصر على تجاهل غريزته الفيزيائية التي كانت تعتبر الأفضل في العالم كله.

وبينما كان أينشتاين يتلمس طريقه إلى المعادلات النهائية كان يركز على ثلاث تجارب أساسية قادرة على إثبات أفكاره المتعلقة بالمكان المنحني والجاذبية، وهي: انحناء ضوء النجوم خلال الكسوف الشمسي، والانزياح الأحمر، وحضيض عطارد. عام ١٩١١ وحتى قبل أن يبدأ في عمله على المكان المنحني كان أينشتاين يأمل في أن يتم إرسال بعثة علمية إلى سيبيريا خلال الكسوف الشمسي المنتظر في الحادي والعشرين من أغسطس من عام ١٩١٤ لدراسة انحناء ضوء النجوم الذي سيحدث بفعل الشمس.

أبدى الفلكي إرفين فنلاي فروينﺪليخ استعداده للقيام بهذه المهمة وكان أينشتاين واثقًا من صحة عمله حتى إنه في البداية عرض تمويل الحملة على نفقته الخاصة حيث قال: «إذا فشلت الحملة فسوف أدفع تكلفتها من مدخراتي القليلة أو على الأقل سأدفع ٢٠٠٠ مارك مبدئيًّا.»[٩] لكن بعد ذلك وافق أحد رجال الصناعة الأثرياء على تمويل هذه البعثة العلمية؛ ذهب فروينﺪليخ ومساعده إلى سيبيريا قبل موعد الكسوف بشهر، لكن أعلنت ألمانيا الحرب على روسيا، فما كان من الروس إلا أن قبضوا على العالمين وأخذوهما أسرى وصادروا معداتهما. (لعل هذا كان من حسن حظ أينشتاين، لأن تلك التجربة لو أجريت لما اتفقت نتائجها بالطبع مع القيم التي توقعها في نظريته الخاطئة وهو ما كان سيظهره فاشلًا.)

بعدها حسب أينشتاين تأثير الجاذبية على تردد شعاع الضوء، وفكر أنه إذا أُطْلِقَ صاروخ من الأرض إلى الفضاء الخارجي فسوف تعمل الجاذبية الأرضية كشبكة عازلة تشد الصاروخ مرة أخرى إلى الأرض، ومن ثم سيفقد الصاروخ الطاقة وهو يكافح لمقاومة الجاذبية، وبالمثل عندما ينبعث الضوء من الشمس فلا بد أن تعمل الجاذبية أيضًا كشبكة عازلة تشده إلى الوراء وتفقده طاقته، غير أن الضوء لن تقل سرعته جراء هذا بل سينخفض

تردد موجاته أثناء كفاحه ضد الجاذبية، ولهذا فإن الضوء الذي يخرج من الشمس أصفر يكتسب حمرة مع انخفاض تردده وخروجه من نطاق الجاذبية، غير أن الانزياح الأحمر الذي تسببه الجاذبية هو تأثير في غاية الصغر، وكان أينشتاين واثقًا من أنه سوف يكون قابلًا للدراسة المعملية في وقت قريب جدًّا (لكن لم يتأتَ هذا إلا بعد أربعة عقود كاملة.)

وأخيرًا عكف أينشتاين على حل معضلة قديمة جدًّا تمثلت في سبب تذبذب مدار كوكب عطارد وانحرافه شيئًا ما عن قوانين نيوتن؛ عادة ما تدور الكواكب حول الشمس في مسار ثابت يتخذ شكل قطع ناقص إلا من بعض اضطرابات في هذا المسار تتسبب فيها جاذبية الكواكب المجاورة التي تنتج عنها مسارات على شكل بتلات زهرة الربيع، لكن إذا طرحنا نسبة التداخل الذي تسببه جاذبية الكواكب الأخرى فسنجد أن مدار كوكب عطارد بالذات ينحرف بنسبة معينة عن قوانين نيوتن، يسمى هذا الانحراف بالحضيض الشمسي وكان أول من لاحظه الفلكي أربان ليفيريير عام ١٨٥٩ وحسب هذا الانحراف مقدرًا إياه بـ ٤٣,٥ ثانية من الانحناء تحدث كل قرن ولا يمكن تفسيره من خلال قوانين نيوتن. (ولم يكن وجود مثل تلك التناقضات في قوانين نيوتن للحركة أمرًا جديدًا؛ ففي مطلع القرن التاسع عشر فوجئ الفلكيون باكتشاف انحرافات مماثلة في مدار كوكب أورانوس ووجدوا أنفسهم أمام خيارين لا ثالث لهما؛ فإما أن يتخلوا عن قوانين نيوتن للحركة، وإما أن يفترضوا وجود كوكب آخر يجذب مدار أورانوس، لكن الفيزيائيين تنفسوا الصعداء حينما اكتشف كوكب جديد يسمى نبتون بالضبط في المكان الذي تحدده قوانين نيوتن.)

غير أن عطارد ظل هو اللغز المحير الذي لم يحل، ولأن الفلكيين لم يريدوا أن ينبذوا قوانين نيوتن فقد افترضوا أن هناك كوكبًا يدور في مدار عطارد حول الشمس ويسمى «فولكان»، لكن البحث المتكرر في الليالي عن هذا الكوكب لم يسفر عن أي دليل مادي يؤكد وجوده.

أما أينشتاين فقد كان مستعدًّا لقبول أكثر الحلول راديكالية وهو أن قوانين نيوتن نفسها غير صحيحة، وفي نوفمبر/تشرين الثاني من عام ١٩١٥ وبعدما أضاع ثلاث سنين في نظرية أينشتاين-جروسمان عاد مرة

أخرى إلى نظرية انحناء ريتشي التي كان قد نبذها عام ١٩١٢ وأدرك الخطأ الذي وقع فيه. (كان أينشتاين قد تخلى عن نظرية انحناء ريتشي لأنها كانت تقول بأن جزءًا واحدًا من المادة قادر على توليد أكثر من مجال للجاذبية وهو ما يعارض مبدأ ماخ، لكنه بعد أن أدرك مفهوم المتغير المشارك العام توصل إلى أن مجالات الجاذبية هذه متساوية رياضيًّا وينتج عنها ذات النتيجة الفيزيائية. ومن هذه الحقيقة وجد أينشتاين فائدة كبيرة للمتغير المشارك العام فهو لم يحصر فقط عدد النظريات الممكنة للجاذبية بل قدم أيضًا نتائج فيزيائية مختلفة عن جميع النتائج السابقة المتماثلة.)[١٠]

وكي يستطيع الوصول إلى مبتغاه عزل أينشتاين نفسه عن العالم الخارجي مبتعدًا عن جميع المشتتات، ودخل في حالة من التركيز هي على الأرجح الأعظم في مسيرته المهنية، وأخذ يجهد نفسه بلا رحمة كي يستطيع التوصل إلى المعادلة الأخيرة ويحل لغز الحضيض الشمسي لعطارد. تظهر دفاتره التي عثر عليها حديثًا أنه كان يفترض حلًّا ما ثم يستميت في محاولة التوفيق بينه وبين نظرية نيوتن القديمة المتعلقة بمحدودية مجالات الجاذبية. وغني عن الذكر أن هذه كانت مهمة شاقة للغاية لأن معادلاته كانت عشر معادلات بخلاف المعادلة الوحيدة التي خرج بها نيوتن، وكلما فشل حلٌّ من حلوله جرب حلًّا آخر ليرى هل سيتوافق مع معادلة نيوتن، غير أن تلك المهمة التي هي كمهام أبطال الأساطير انتهت أخيرًا في نوفمبر/تشرين الثاني من عام ١٩١٥ بعد أن استنزفت قواه تمامًا، وبعد حسابات معقدة ومتعبة وجد من خلال نظرية ١٩١٢ الأولى أن الانحراف في مدار عطارد يقدر بـ ٤٢,٩ ثانية من الانحناء لكل مائة عام في إطار حدود تجريبية مقبولة. فرح أينشتاين بتلك النتائج فرحة كبيرة ممزوجة بدهشة عارمة؛ فقد كان ذلك أول دليل تجريبي على صحة نظريته وقد قال عن هذا: «في بعض الأيام التي أعقبت هذا الاكتشاف لم أكن أستطيع تمالك نفسي من الحماس فقد تحقق أجرأ حلم حلمت به.»[١١] ويقصد بهذا الحلم الذي راوده طيلة حياته بأن يجد معادلات نسبية للجاذبية.

لكن أكثر ما أثار حماسة أينشتاين هو أنه استطاع الخروج بنتائج مادية وتجريبية حاسمة من خلال مبدأ فيزيائي ورياضي مجرد، وهو مبدأ

المتغير المشارك العام وقال عن هذا: «تخيل سعادتي عندما وجدت أن ما توقعته من مبدأ المتغير المشارك العام قد استطاع أن يفسر ظاهرة الحضيض الشمسي لعطارد.»[١٢] ومن ثم استطاع من خلال النظرية الجديدة أن يحسب انحناء ضوء النجوم الذي تسببه الشمس. وبعد أن أضيف مفهوم المكان المنحني إلى نظريته صارت الإجابة النهائية هي ١,٧ ثانية لكل انحناء أي ضعف القيمة الأولى (التي هي نحو ١/ ٢٠٠٠ من الدرجة).

رأى أينشتاين أن نظريته على قدر من البساطة والتماسك والقوة بحيث لن يستطيع أي فيزيائي أن يقاوم جمالها، حيث قال: «يصعب على أي أحد يحسن فهمها ألا يأسره سحرها، فهي نظرية لا تقارن في جمالها بأي نظرية أخرى.»[١٣] ولقد كان مبدأ المتغير المشارك العام قويًّا جدًّا حتى إن المعادلة النهائية التي خرج بها، وهي المعادلة التي تصف بنية الكون نفسها، لا يبلغ طولها حين كتابتها إلا بوصة واحدة. (وإلى اليوم لا يزال الفيزيائيون يتعجبون من قدرة معادلة بهذا القصر على وصف خلق الكون وتطوره. وقد شبه الفيزيائي فيكتور فايسكوف أولئك الفيزيائيين المتعجبين بالفلاح الذي رأى جرارًا زراعيًّا لأول مرة فأخذ يتفحصه من جميع النواحي ثم سأل مندهشًا: «ولكن أين حصانه؟»)

ولم يفسد هذا الانتصار الذي حققه أينشتاين سوى خلاف بسيط حدث بينه وبين ديفيد هيلبرت، الذي كان يعتقد البعض أنه أفضل رياضيي العالم، حول أيهما صاحب الفضل الأكبر في النظرية، ويعود هذا الخلاف إلى أن أينشتاين حين كان في المرحلة الأخيرة من وضع النظرية شرحها لهيلبرت في عدة محاضرات طول كل منها ساعتان ألقاها عليه في جوتنجن، وكان ما دفع أينشتاين لهذا أنه لا يزال يفتقر إلى المعرفة بنظرية رياضية معينة (وهي متطابقات بيانكي) وهذا الأمر منعه من أن يستنبط معادلاته من صيغة بسيطة تسمى «الفعل». لكن ما حدث أن هيلبرت أكمل بعدها الخطوة التي كانت تنقص أينشتاين في الحسابات ثم نشر النتيجة النهائية بنفسه سابقًا أينشتاين بستة أيام. لم يعجب هذا أينشتاين وظن أن هيلبرت يحاول سرقة نظرية النسبية العامة منه وينسبها لنفسه، لكن هذا الخلاف انتهى بعد ذلك وعادت العلاقة طبيعية بين العالمين، غير أن أينشتاين تعلم

الدرس ولم يعد يطلع الآخرين على نتائج أبحاثه. (واليوم صار ذلك الفعل الذي قاد إلى النسبية العامة يسمى بـ«فعل أينشتاين-هيلبرت». من المرجح أن هيلبرت أحس أن عليه أن يكمل آخر وأصغر جزء في النظرية لأنه كان يرى أن: «الفيزياء أهم من أن تترك للفيزيائيين» لأن الفيزيائيين غالبًا ما يكونون غير مؤهلين رياضيًّا لسبر أغوار الطبيعة، وهو الرأي الذي اعتنقه الكثير من علماء الرياضيات الآخرين مثل فيلكس كلاين الذي كان لا ينفك يقول ساخطًا إن أينشتاين لا يمتلك أي خلفية رياضية بل هو واقع تحت تأثير بعض الأفكار المندفعة الغريبة التي تختلط فيها الفلسفة بالفيزياء. ولعل هذا كان الفارق الأساسي بين علماء الرياضيات وعلماء الفيزياء، وهو كذلك السبب وراء فشل أهل الرياضيات المتكرر في استنباط قوانين فيزيائية جديدة، فعلماء الرياضيات لا يتعاملون إلا مع مجالات صغيرة محدودة ومعزولة على نفسها، أما الفيزيائيون فيتعاملون مع مجموعة قليلة من المبادئ الفيزيائية التي تحتاج أنظمة رياضية كثيرة لحلها، ومع أن الرياضيات هي لغة الطبيعة فإن القوى التي تسيطر على هذه الطبيعة هي قوانين فيزيائية على غرار نظرية النسبية ونظرية الكم.)

ولم تكد أخبار نظرية أينشتاين الجديدة تنتشر حتى غطى عليها اندلاع الحرب العالمية الأولى؛ فبعد أن اغتيل ولي عهد الإمبراطورية النمساوية المجرية انجرت الإمبراطوريات البريطانية والنمساوية المجرية والروسية والبروسية إلى صراع كارثي دامٍ اعتبر الأفظع في عصره وأودى بحياة عشرات الملايين من الجنود الشباب. وبين عشية وضحاها تحول أساتذة الجامعات الألمانية الموقرين إلى قوميين متعطشين للدماء، واجتاحت حمى الحرب معظم أساتذة جامعة برلين حتى إنهم كرسوا كل أعمالهم للمجهود الحربي، بل إن ثلاثة وتسعين من أبرز أساتذة الجامعة وقعوا على بيان شهير لمساندة القيصر أسموه «بيان العالم المتحضر» داعين فيه الشعب للتجمع تحت راية القيصر، لأنه يجب على الألمان أن يهزموا «قطعان الروس وحلفاءهم المغول والزنوج الذين انفلتوا من عقالهم على الجنس الأبيض»[١٤] على حد ما جاء في البيان، وبرر البيان أيضًا الاجتياح الألماني لبلجيكا وأعلن بكل فخر أن «الجيش الألماني والشعب الألماني قد صارا الآن كيانًا واحدًا يجمع سبعين مليون ألماني

معًا دون أي تميز بينهم على أساس التعليم أو الطبقة الاجتماعية أو الانتماء السياسي.»[١٥] وكان من بين الموقعين على هذا البيان راعي أينشتاين الأساسي ماكس بلانك ومعه عدد من أبرز الشخصيات العلمية مثل فيلكس كلاين وفيلهلم رونتجن (مكتشف أشعة إكس)، وفالتر نيرنست وفيلهلم أوستفالد.

لكن أينشتاين المعروف بحبه للسلام رفض أن يوقع على هذا البيان، بل تضامن مع جيورج نيكولاي الطبيب الخاص لإلسا الذي كان من النشطاء البارزين في مجال مناهضة الحروب حين أعد بيانًا مضادًّا، وطلب من مائة عالم أن يوقعوا عليه كي يخرجوا البلاد من حالة هستيريا الحرب التي تملكتها، لكن لم يستجب له سوى أربعة علماء كان أينشتاين واحدًا منهم. لم يصدق أينشتاين ما يحدث وكتب قائلًا بحزن: «لم أكن أصدق أن الدول الأوربية يمكن أن تكون بهذه الحماقة. في مثل هذه المواقف فقط يدرك المرء إلى أي فصيل حيواني منحط ينتمي.»[١٦]

وعام ١٩١٦ تزلزلت حياة أينشتاين مرة أخرى لكن هذه المرة بفعل خبر صادم جاءه عن صديقه فريدريش أدلر القريب إلى نفسه، والرجل ذو النزعة المثالية، وهو نفسه العالم الفيزيائي الذي تخلى عن منصب أستاذ في جامعة زيورخ لأجل أينشتاين، كان الخبر أن أدلر اغتال الكونت كارل فون ستروخ رئيس وزراء النمسا داخل مطعم مزدحم بفيينا وهو يصرخ قائلًا: «فليسقط الطغيان. نريد السلام.» ارتاعت البلاد كلها لهذا الخبر، ولم يصدقوا أن ابن مؤسس الحركة الاشتراكية الديمقراطية في النمسا ارتكب جريمة شنيعة كهذه في حق الأمة. وعلى الفور أودع أدلر السجن منتظرًا حكمًا محتملًا بالإعدام، وخلال الوقت الذي قضاه ينتظر محاكمته وجد سلواه في الفيزياء التي هي حبه القديم وكتب مقالًا طويلًا ينتقد فيه نظرية أينشتاين النسبية، بل إنه في خضم الاضطراب الذي أحدثه باغتياله رئيس الوزراء وما لحقه من تبعات كان ذهنه مشغولًا تمامًا بفكرة خطأ كبير اكتشفه في النسبية.

في ذلك الوقت كان فيكتور، والد فريدريش أدلر، يحاول مستميتًا أن يدافع عن ابنه بأي وسيلة كانت فلم يجد أمامه إلا أن ادعى إصابته بخلل عقلي متوارث في عائلته، وللتدليل على هذا قال فيكتور إن ابنه بلغ من

الجنون مبلغًا جعله يحاول تفنيد نسبية أينشتاين التي آمن الجميع بها، وعرض أينشتاين بدوره أن يمثل أمام المحكمة بصفته شاهدًا على شخص أدلر لكن المحكمة لم تستدعه.

صدر الحكم الأولي من المحكمة يقضي بإعدام أدلر شنقًا لكنه بعد ذلك خفف إلى السجن مدى الحياة بعد التماسات تقدم بها أينشتاين وآخرون معه. (والمفارقة أنه عام ١٩١٨ وبعد سقوط الحكومة عقب الحرب العالمية الأولى أُطلق سراح أدلر وانتخب عضوًا في مجلس الأمة النمساوي ليصير واحدًا من أبرز رموز الحركة العمالية.)

أدت الآثار النفسية للحرب ومعها المجهود الذهني الذي بذله أينشتاين في وضع *النظرية النسبية العامة إلى إضعاف صحته التي كانت من الأساس* غير مستقرة،[١٧] إلى أن سقط عام ١٩١٧ مريضًا يعاني آلامًا أوشك جسده معها على الانهيار، وبلغ الضعف منه أنه لم يكن قادرًا على الخروج من شقته ونقص وزنه ٥٦ رطلًا في شهرين فقط، حتى إنه ظن أنه يحتضر من السرطان، لكن الأطباء شخصوا حالته واكتشفوا أنه يعاني قرحة في المعدة، فنصحوه بالراحة التامة وتغيير نظامه الغذائي. وخلال تلك الفترة لم تفارقه إلسا للحظة وظلت تمرضه وتعتني بغذائه حتى استرد عافيته كاملة، وكان من جراء هذا أن زاد أينشتاين قربًا منها ومن بناتها وخاصة بعدما انتقل للسكن في الشقة المجاورة لشقتهم.

وأخيرًا تم الزواج بينهما في يونيو حزيران من عام ١٩١٩، وبعدها صارت إلسا مسئولة عن تحويله من أستاذ عازب غير عابئ بمظهره إلى زوج أنيق اجتماعي، وربما كان هذا التحول بمنزلة إعداد له للتطور القادم الذي سيطرأ على حياته، والذي من خلاله سيلعب دورًا محوريًّا على مسرح الأحداث العالمية.



الفصل الخامس

خليفة كوبرنيكوس

أخيرًا انتهت الحرب العالمية الأولى بعد أن عطلت أعمال أينشتاين وأشاعت الفوضى في حياته، فظل يترقب بشغف النتائج التي سيخرج بها تحليل الكسوف الشمسي المنتظر حدوثه في ٢٩ من مايو/أيار عام ١٩١٩، وكان الفلكي البريطاني آرثر إدنجتون قد أبدى استعداده لإجراء التجربة التي سيتحقق بمقتضاها من نظريته؛ شغل إدنجتون في ذلك الوقت منصب سكرتير الجمعية الفلكية الملكية بإنجلترا، وكان خبيرًا باستخدام التلسكوب في الأرصاد الفلكية، وعلى دراية كبيرة بالحقائق الرياضية التي تقوم عليها النسبية العامة، وبخلاف هذا كان لديه دافع أقوى للاضطلاع بهذه المهمة؛ فلم يكن يريد تأدية الخدمة العسكرية والقتال مع الجيش البريطاني في الحرب العالمية الأولى لأن عقيدة الكويكرز التي ينتمي إليها تمنعه من هذا، بل إنه كان مستعدًّا لأن يسجن في مقابل ألا يخالف تعاليم عقيدته المسالمة، لكن مسئولي جامعة كامبريدج خشوا الفضيحة إذا سُجن أحد نجومهم الصاعدة في سماء العلم لأنه تمسك بمبادئه، فتفاوضوا مع الحكومة حول تأجيل خدمته العسكرية شرط أن يقوم بواجب مدني بقيادته للبعثة التي ستراقب الكسوف الشمسي لعام ١٩١٩ وتختبر نظرية أينشتاين، وهكذا صار اختبار النسبية العامة واجبًا وطنيًّا عليه.

أقام آرثر إدنجتون معسكره في جزيرة برنسيبي الواقعة بخليج غينيا على مقربة من ساحل أفريقيا الشرقي، وفي الوقت نفسه أبحر فريق آخر بقيادة أندرو كروملين إلى سوبرال بشمال البرازيل، كادت التجربة أن تفسد بفعل سوء الأحوال الجوية واحتجاب الشمس وراء الغيوم الماطرة، لكن

المعجزة حدثت وانقشعت الغيوم لفترة وجيزة كانت كافية لالتقاط صور للنجوم في الواحدة والنصف ظهرًا.

لم يعد الفريقان إلى إنجلترا ويبدءا في تحليل البيانات إلا بعد عدة أشهر، لكن إدنجتون بعد أن انتهى من مقارنة الصور التي التقطها بصور أخرى كان قد التقطها تلسكوبيًّا في إنجلترا قبل عدة أشهر وجد بالفعل انحرافًا يبلغ متوسطه ١,٦١ ثانية قوسية، في حين قدر فريق سوبرال الانحراف بـ ١,٩٨ ثانية قوسية، وبحساب متوسط النتيجتين معًا قدروه بـ ١,٧٩ ثانية قوسية وهو ما أكد نتيجة أينشتاين ١,٤٧ حيث الفارق بينهما يقبل في إطار الخطأ التجريبي، ومنذ ذلك اليوم ظل إدنجتون يعتبر لحظة تأكيده لصحة النسبية العامة أعظم لحظة في حياته.

وفي ٢٢ سبتمبر/أيلول من عام ١٩١٩ تلقى أينشتاين برقية من هندريك لورنتز يبلغه بتلك الأخبار العظيمة، فما كان من أينشتاين إلا أن كتب خطابًا لأمه يقول فيه بحماس: «أمي العزيزة، تلقيت اليوم أخبارًا سارة، فقد أبرق لي هندريك لورنتز يبلغني أن البعثة الإنجليزية قد أثبتت بالفعل انحراف أشعة الضوء بفعل الشمس.»[١] وفي ليلة وصول الخبر ظل ماكس بلانك ساهرًا طوال الليل يراجع بيانات الكسوف الشمسي كي يتأكد من أنها تثبت بالفعل صحة النسبية العامة، وقد تندر أينشتاين من هذا الموقف بأن قال: «لو كان يفهم النسبية العامة حقًّا لغط في النوم كما فعلت أنا.»[٢]

ومع أن أخبار نظرية الجاذبية الجديدة التي وضعها أينشتاين كانت في ذلك الوقت موضوع الحديث الرئيسي لكل المنتمين إلى المجتمع العلمي فإن الموضوع لم ينتشر بين العامة إلا بعد الاجتماع المشترك الذي ضم الجمعية الملكية والجمعية الفلكية الملكية بلندن والذي جرى في السادس من نوفمبر/تشرين الثاني من عام ١٩١٩، وهو الاجتماع الذي جعل أينشتاين يتحول فجأة من أستاذ فيزياء ذي مكانة كبيرة في برلين إلى شخصية عالمية ووريث عن استحقاق لمكانة إسحق نيوتن العلمية، وقد علق الفيلسوف ألفريد وايتهيد على هذا المؤتمر قائلًا: «كان يخيم عليه جو من الترقب المحموم جدير بالدراما الإغريقية.»[٣] كان السير فرانك دايسون هو أول

المتحدثين في المؤتمر فقال: «بعد الدراسة المدققة لنتائج التجارب التي قدمت إليّ فإنني مستعد للجزم بأنها تؤكد نظرية أينشتاين؛ فقد خرجت التجارب بدليل أكيد على أن الضوء ينحرف بالطريقة نفسها التي نص عليها قانون أينشتاين للجاذبية.»[٤] ثم تحدث جيه جيه تومسون رئيس الجمعية الملكية والحاصل على جائزة نوبل قائلًا: «إن هذا لواحد من أعظم الإنجازات في تاريخ الفكر الإنساني، وهو ليس كاكتشاف جزيرة معزولة بل هو يماثل اكتشاف قارة جديدة من الأفكار العلمية. إنه الاكتشاف الأعظم في مجال الجاذبية منذ أن خرج نيوتن بقوانينه.»[٥]

وهناك قصة غير مؤكدة تقول إنه بينما كان إدنجتون يهم بمغادرة الاجتماع استوقفه عالم آخر وقال له: «هناك شائعة تقول إنه ليس في العالم بأسره إلا ثلاثة أشخاص يفهمون نظرية أينشتاين، ولا بد أنك أحدهم.»[٦] ولما ظل إدنجتون واقفًا دون أن يتكلم قال له العالم: «لا تتواضع يا إدنجتون»[٧] فهز إدنجتون كتفيه وقال: «لا إطلاقًا، إنني فقط لا أدرى من هو الشخص الثالث.»

وفي اليوم التالي خرجت صحيفة التايمز اللندنية بعنوان كبير على هذا النحو: «ثورة علمية — نظرية جديدة للكون — سقوط نظرية نيوتن — كشف عظيم — الفضاء منحن»[٨] (وقتها كتب إدنجتون لأينشتاين يقول له: «إن كل من في إنجلترا يتحدث عن نظريتك ... وهو الأمر الذي يعزز العلاقات العلمية بين إنجلترا وألمانيا.»[٩] وأثنت الصحف اللندنية على أينشتاين لأنه لم يوقع على ذلك البيان الشائن الذي وقع عليه العلماء الألمان الثلاثة والتسعون وهو البيان ذاته الذي أثار سخط علماء إنجلترا.)

لعب إدنجتون دورًا كبيرًا في الترويج لأينشتاين والدفاع عن نظرية النسبية ضد كل من يعارضونها في العالم الناطق بالإنجليزية، وهو في فعله هذا كان مثل توماس هاكسلي الذي عاش في القرن التاسع عشر وكان المدافع الرئيسي عن نظرية النشوء والارتقاء لداروين في المجتمع الفيكتوري المتدين الذي رآها نوعًا من الهرطقة، وقد استغل إدنجتون كل ما في جعبته من سمعة علمية طيبة ومهارة بفنون الإقناع في هذا المسعى، وكان هذا التحالف الغريب بين اثنين من دعاة السلام، أحدهما من الكويكرز والآخر من اليهود، هو ما عرف الناطقين بالإنجليزية بنظرية النسبية.

كان هذا الاكتشاف مفاجئًا لوسائل الإعلام حتى إن كثيرًا من الصحف أخذت تفتش في صفوف أطقمها عمّن يكون على دراية بالفيزياء دون جدوى، فاضطرت جريدة نيويورك تايمز أن ترسل هنري كراوتش الخبير في لعبة الجولف كي يغطي ذلك الخبر الذي طرأ فجأة على الساحة العالمية، وهي المهمة التي لم يؤدها دون الوقوع في أخطاء متعددة، وأرسلت صحيفة مانشستر جارديان ناقدها الموسيقي لتغطية ذات القصة. وفي وقت لاحق طلبت صحيفة التايمز اللندنية من أينشتاين أن يشرح النسبية في مقال مفصل؛ فكتب يقول: «إنني اليوم أُعرف في ألمانيا بأنني عالم ألماني، وأعرف في إنجلترا بأنني يهودي سويسري، لكن إذا حدث في يوم من الأيام أن صرت شخصًا مكروهًا فستنعكس الأوصاف وسأصبح يهوديًّا سويسريًّا في ألمانيا وعالمًا ألمانيًّا في إنجلترا.»[١٠]

وسرعان ما هرعت مئات الصحف تتسابق لنيل حوار صحفي حصري مع ذلك العالم المشهود له بالعبقرية من الجميع الذي يعتبر خليفة لكوبرنيكوس ونيوتن، فوجد أينشتاين نفسه محاصرًا بالمراسلين الصحفيين الذين يرغبون في نيل حوار منه قبل انتهاء المهلة التي حددتها صحفهم، وبدا كما لو كانت كل جريدة في العالم جعلت من هذا الخبر عنوانها الرئيسي، ولعل السبب في هذا أن الناس الذين أعيتهم أخبار المذابح والهمجية التي سادت الحرب العالمية الأولى كانوا مستعدين لتقبل شخصية أسطورية تداعب أحلامهم وخيالاتهم الجامحة عن السماوات ونجومها، لكن السبب الأكثر أهمية هو أن أينشتاين قدّم صورة جديدة للعباقرة؛ فلم يكن باردًا كما هو المعتاد فيهم بل له هيئة بتهوفن بشعره الثائر وملابسه المهلهلة ولباقته مع الصحفيين ودعاباته الذكية.

كتب أينشتاين يقول لرفاقه: «لقد صارت النسبية موضوع جدال عند جميع الناس حتى الحوذيين منهم والنُّدُل وانقسموا بين مؤيد ومعارض، وصارت آراء كل منهم عن النظرية تتوقف على انتمائهم السياسي.»[١١] لكن بعد أن مر وقت على النظرية ولم تعد بالجديدة بدأ يدرك الجانب السلبي لما حققه من شهرة وعن هذا كتب: «منذ أن كتبت جميع الصحف عن النظرية صارت تنهال عليّ الأسئلة والدعوات والآراء المعارضة لها، حتى بت

أحلم بأنني أصطلي في الجحيم وساعي البريد هو الشيطان نفسه، لا يزال يصيح بي ويلقي على رأسي بأكوام من الخطابات لأنني لم أجب على الأكوام القديمة.»[١٢] «لقد غدا هذا العالم أشبه بمصحة تمتلئ بمجانين فضوليين، وصرت أنا مركز سيرك النسبية.»[١٣] «أشعر كما تشعر العاهرة التي يريد الجميع أن يعرف ماذا تفعل.»[١٤] وبالفعل كان الفضوليون والمهاويس وحتى أصحاب السيرك يتسابقون لاقتباس شيء من شهرة ألبرت أينشتاين، فقد كتبت صحيفة «برلينر إلستريت زيتونج» خبرًا عن المشكلات التي تعرض لها العالم محدث الشهرة حينما رفض عرضًا كريمًا من أحد مسئولي سيرك لندن بأن يخصص له فقرة من فقرات السيرك يؤدي فيها عرضًا مع الكوميديانات والبهلونات وآكلي النيران. ولم يكن أينشتاين قادرًا على إيقاف هذا الجنون، فصحيح أنه قادر على رفض أي عروض غير مناسبة، لكنه لم يكن قادرًا على منع تسمية الأطفال باسمه أو إطلاقه على ماركات السيجار.

لكن كما كان متوقعًا واجه اكتشاف أينشتاين المذهل جيشًا من المعارضين العازفين على نغمة الشك، وكانت جريدة نيويورك تايمز هي من تولى قيادة هؤلاء المتشككين بعد أن أفاقت من الضربة التي لقيتها من الصحافة البريطانية التي نالت السبق الصحفي لكونها أول من نشر أخبار هذه النظرية، فما كان منها إلا أن سخرت من سذاجة البريطانيين الذين تقبلوا نظرية أينشتاين دون تدقيق؛ فكتبت: «إن الشعب البريطاني بعد أن سمع عن وجود أدلة بصرية على صحة نظرية أينشتاين بدا كما لو أنه أصيب بلوثة جماعية ... لكن هذا الشعب بدأ يسترد سلامه العقلي تدريجيًّا بعد أن أدرك أن هذه النظرية لم تغير الكون ولا تزال الشمس تطلع من المشرق كما هو واضح.»[١٥] غير أن أكثر ما كان يضايق محرري نيويورك تايمز ويريبهم في هذه النظرية هو أن عددًا قليلًا من الناس في العالم بأسره هم فقط من يدركون منطقها، ولهذا فقد أخذوا يتذمرون قائلين إن هذا ينافي الديمقراطية والفكر الأمريكي، وتساءلوا عما إذا كان العالم قد وقع ضحية خدعة كبرى.

وفي الحقل الأكاديمي كذلك تكونت جبهة معارضة قادها أستاذ متخصص في ميكانيكا الأجرام السماوية بجامعة كولومبيا يدعى تشارلز

لاين بور. اعتقد بور خطأ أن «تلك الأدلة التي يفترض بها إثبات صحة نظرية أينشتاين المزعومة لا وجود لها من الأساس.»[16] بل إنه شبه واضع النسبية بالكاتب لويس كارول (مؤلف قصة أليس في بلاد العجائب) حين قال: «لقد قرأت مقالات كثيرة عن البعد الرابع ونسبية أينشتاين وعن تخمينات سيكولوجية أخرى للقوانين التي تحكم الكون، وبعد قراءتها وجدتني أشعر كما شعر السيناتور براندیجي بعد حضوره حفل العشاء في واشنطن، أشعر كما لو كنت أتجول مع أليس في بلاد العجائب وأتناول الشاي مع صانع القبعات المجنون.»[17] وانضم إليه المهندس جورج فرانسيس جيليت الذي عارض النسبية بحدة وقال عنها: «إنها نظرية فيزيائية مختلة ... وضرب من الجنون ... وما هي إلا نتاج فكر مختل لطفل يعاني مرضًا عقليًّا ... ومحض هراء ... ومن قبيل الشعوذة. ولن يأتي عام ١٩٤٠ إلا وتكون نكتة النسبية قد صارت من الماضي، أما عن أينشتاين فقد انضم بالفعل إلى زمرة كتاب قصص الأطفال الخيالية مثل أندرسون والأخوين جريم بل إنه صار أقرب إلى صانع القبعات المجنون.»[18] والمفارقة أن تلك المعارضات الباطلة للنسبية هي ما أوردت أسماء هؤلاء الأشخاص في سجل التاريخ ولولاها لما عرفهم أحد. غير أن السمة المميزة للنظريات العلمية أن صحتها لا تتوقف على شعبيتها أو على محرري نيويورك تايمز بل على التجارب الدقيقة، وكما قال ماكس بلانك عندما تعرضت نظرية الكم التي وضعها لنقد شديد: «إن الحقائق العلمية الجديدة لا تقر كقاعدة عامة لأن بعض الناس يقبلونها أو يرفضونها، بل لأن معارضيها يختفون بمرور الزمن ويظهر جيل جديد يربى عليها منذ نشأته.»[19] وحتى أينشتاين نفسه علق على هذا الموضوع قائلًا: «لطالما واجهت الأفكار الجديدة معارضة عنيفة من أصحاب عقول متوسطة الذكاء.»[20]

ولسوء الحظ كان من شأن ما حققه أينشتاين من شهرة وما ناله من مديح إعلامي أن خلق له جيشًا من الحاقدين والناقمين والمتعصبين، وكان أشهر هؤلاء رجل عرف بأنه أكثر من يمقتون اليهود في مجال الفيزياء وهو فيليب لينارد الفيزيائي الحاصل على جائزة نوبل، الذي حدّد الاعتماد الأساسي للتأثير الكهروضوئي وهي ذات النتيجة التي فسرتها نظرية أينشتاين للكم

الضوئي «الفوتون»، وكانت ميليفا من بين من حضروا المحاضرة التي ألقاها هذا الرجل في هايدلبرج، وفي مؤلفاته استخدم لهجة شديدة في الهجوم على أينشتاين حتى إنه وصفه بالـ«اليهودي المحتال» وقال أيضًا: «إن النسبية لو كانت حقيقية لاكتشفت منذ زمن بعيد ولم يكن العالم لينتظر ذلك اليهودي ليكتشفها.»[٢١] ولم يكتف لينارد بهذا بل انضم إلى اتحاد يسمى باتحاد مناهضي النسبية وصار من أبرز أعضائه، وأخذ هذا الاتحاد على عاتقه مهمة تنقية الفيزياء الآرية والألمانية من «النظريات الفيزيائية اليهودية»، وانضم لهذا الاتحاد أيضًا عديد من العلماء الألمان ومنهم يوهانز شتارك الحاصل على جائزة نوبل، وهانز جايجر (مخترع عداد جايجر).

وفي أغسطس/آب من عام ١٩٢٠ عقد هؤلاء المناوئون الخبثاء مؤتمرًا في قاعة الجمعية الموسيقية الضخمة ببرلين بهدف التنديد بنظرية النسبية. العجيب أن أينشتاين كان من بين الحضور في هذا المؤتمر ووقف مواجهًا بشجاعة مجموعة من المتحدثين الغاضبين تعاقبوا عليه متهمين إياه بأنه ليس إلا ساعيًا للشهرة ولصًّا من لصوص العلم ومشعوذًا. وفي الشهر الذي أعقب هذا الاجتماع حدثت مواجهة أخرى بينه وبين معارضيه، ولكن هذه المرة في اجتماع للجمعية الألمانية للعلماء ببلدة بادنوهايم، وهناك تمركزت قوات مسلحة من الشرطة في مدخل قاعة الاجتماع لتحرسه وتخمد أي تظاهرات أو أعمال عنف قد تحدث، وفي هذا الاجتماع لقي أينشتاين سخرية من الحاضرين وتعالى صياحهم المستهزئ به حينما حاول أن يرد على اتهامات لينارد اللاهبة. وفي هذا الوقت بدأت أخبار هذا السجال الضاري تتناهى إلى مسامع محرري الصحف في لندن، وتحفز البريطانيون بفعل شائعات انتشرت تقول إن أعظم علماء ألمانيا يتعرض لمضايقات تهدف إلى إخراجه منها، غير أن ممثل الخارجية الألماني في لندن حاول أن يحتوي تلك الشائعات على الفور بأن قال إن كارثة ستحل بالحركة العلمية في ألمانيا لو رحل أينشتاين عنها وإنه «من واجبنا ألا نبعد هذا الرجل عنا ... لأنه من الممكن أن يكون أداة فاعلة في الترويج لثقافتنا.»[٢٢]

وفي أبريل/نيسان من عام ١٩٢١ كان قرار أينشتاين بأن يستغل ما حققه من شهرة دولية وما انهال عليه من دعوات أتت من جميع أرجاء

الأرض في الترويج للنظرية النسبية وكذلك لقضايا أخرى من بينها السلام وقضية الصهيونية، في تلك الفترة كان أينشتاين قد أعاد اكتشاف جذوره اليهودية بفعل حوارات مطولة جرت بينه وبين صديقه كيرت بلومنفيلد ومن خلالها بدأ يدرك المعاناة الشديدة التي لقيها اليهود على مر العصور،[٢٣] وعن هذا كتب: «كان بلومنفيلد هو من جعلني ألتقي بروحي اليهودية.»[٢٤] وخطط حاييم فايتسمان القيادي الصهيوني البارز في ذاك الوقت لاستخدام أينشتاين في جمع تبرعات للجامعة العبرية بالقدس فرتب له جولة في ربوع أمريكا.

وما إن رست سفينة أينشتاين في ميناء نيويورك حتى هرع الصحفيون إليه متزاحمين وكل منهم يحاول أن ينال نصيبه منه، واصطفت حشود الناس على جانبي شوارع نيويورك ليستطلعوا موكبه وأخذوا يهللون فرحًا عندما لوح لهم بيده من سيارته الليموزين مكشوفة السقف، بل إن أحدهم ألقى بباقة ورد على إلسا مما جعلها تقول: «أشعر كأنني في سيرك بارنوم.»[٢٥] وقال أينشتاين: «في كل عام تتخذ النساء في نيويورك صيحة جديدة من صيحات الموضة، وصيحة هذا العام هي النسبية. إنني لا أنفك أسأل نفسي هل أشبه المشعوذين أو من يقومون بالتنويم المغناطيسي حتى ينجذب الناس إليّ كما ينجذبون إلى مهرجي السيرك؟»[٢٦]

وكما كان متوقعًا جذب أينشتاين اهتمامًا جماهيريًّا عريضًا للقضية الصهيونية، وأقبل الآملون والفضوليون ومناصرو اليهود على حضور جميع المحاضرات التي ألقاها، حتى إنه في إحدى المحاضرات التي أقيمت في مستودع الأسلحة التاسع والستين بمانهاتن تزاحم جمهور قوامه ثمانية آلاف في القاعة واضطر ثلاثة آلاف آخرون للرجوع لعدم وجود أمكنة مع أنهم كانوا في توق لرؤية ذاك العبقري.[٢٧] وكان استقبال أينشتاين في سيتي كوليدج بنيويورك الحدث الأهم في تلك الرحلة، وفي المحاضرة التي ألقاها هناك دوَّن إيزيدور أيزاك رابي، الذي حصل بعد ذلك على جائزة نوبل، ملاحظات غزيرة من كلامه، وقال إن أينشتاين على خلاف غيره من الفيزيائيين يمتلك جاذبية وقدرة على إمتاع الجماهير بحديثه (وحتى يومنا هذا لا تزال صورة طلبة سيتي كوليدج بنيويورك وهم متحلقون حول أينشتاين معلقة في مكتب رئيس الكلية.)

وبعد نيويورك طاف أينشتاين بالولايات المتحدة متوقفًا في عدد من المدن الكبرى، وعندما ذهب إلى كليفلاند تجمع حوله ثلاثة آلاف من الناس وأطبقوا عليه حتى كادوا أن يصيبوه بإصابات خطيرة، ولم ينقذه منهم إلا فرقة من قدامى المحاربين اليهود صدوا عنه الجماهير التي تزاحمت لرؤيته.[٢٨] وفي واشنطن التقى بالرئيس الأمريكي وارين جي هاردينج، لكن لسوء الحظ لم يتمكن من التحاور معه لأنه لم يكن يتحدث الإنجليزية، وكذلك لم يكن الرئيس الأمريكي يجيد الألمانية أو الفرنسية. (جمع أينشتاين من هذه الجولة ما يقرب من مليون دولار كان منها مائتان وخمسون ألف دولار حصل عليها من محاضرة ألقاها على ثمانمائة طبيب يهودي تناول معهم العشاء في فندق والدورف أستوريا.)

لم يقتصر دور رحلة أينشتاين إلى أمريكا على تفسير خبايا الزمان والمكان للملايين من أبناء الشعب الأمريكي بل إنها ساهمت أيضًا في تعميق التزامه بالقضية اليهودية؛ فلأنه نشأ في كنف أسرة أوروبية من الطبقة المتوسطة وفرت له ظروف معيشة مريحة، لم يكن له أي اتصال مباشر بيهود العالم الفقراء ولم يكن يلم بما يعيشون فيه من معاناة، وقد كتب عن هذا: «كانت تلك المرة الأولى التي أرى فيها جمعًا غفيرًا من اليهود.»[٢٩] «إنني لم أكتشف الشعب اليهودي إلا بعد زيارتي لأمريكا.»[٣٠] «ومع أنني رأيت يهودًا كثيرين في حياتي فإنني لم أقابل في برلين ولا في ألمانيا كلها يهودًا كهؤلاء الذين قدموا إلى أمريكا من روسيا وبولندا ومن بقية دول أوروبا الشرقية.»

وبعد الولايات المتحدة سافر أينشتاين إلى إنجلترا وهناك التقى بأسقف كانتربري الذي اطمأن وارتاح باله عندما أكد أينشتاين له أن نظرية النسبية لن تبعد الناس عن الدين والإيمان. ولبى دعوة للغداء في بيت آل روتشيلد والتقى بالفيزيائي العظيم اللورد ريليه الذي قال له: «لو كانت نظرياتك صحيحة فإنني أفهم من هذا أن ... الغزو النورماندي لم يحدث بعد.»[٣١] وعندما قُدم للورد هالدان وكانت بصحبته ابنته لم تتمالك نفسها وأُغشي عليها عندما رأته، بعد ذلك عبّر أينشتاين عن شديد إجلاله لإسحق نيوتن بالوقوف على قبره الذي يقع في كنيسة ويستمنستر أقدس بقاع إنجلترا،

ووضع إكليلًا من الزهور عليه. وفي مارس/آذار عام ١٩٢٢ تلقى دعوة للمحاضرة في الكلية الفرنسية (كوليج دى فرانس) وهناك تكالب عليه الصحفيون الباريسيون ومعهم جماهير من شتى أطياف الشعب، وعلق أحد الصحفيين على هذا قائلًا: «لقد غدا أينشتاين صيحة في المجتمع، وصار الأكاديميون ورجال السياسة والفنانون ورجال الشرطة وسائقو سيارات الأجرة والنشالون يعرفون مواعيد محاضراته جيدًا، وصارت باريس كلها تتحدث عنه وتدلي بدلوها فيما تعرف وما لا تعرف.»[٣٢] لكن جدلًا أثير حول هذه الزيارة سببه مقاطعة بعض العلماء لمحاضرات أينشتاين، حيث كانوا لا يزالون يلعقون جراح الحرب العالمية الأولى، لكن السبب الذي أبدوه هو أن ألمانيا ليست عضوًا بعصبة الأمم. (كان رد الصحافة الباريسية على هؤلاء في تساؤل مستهزئ يقول: «ماذا سيفعل هؤلاء العلماء الثلاثون إذا اكتشف ألماني علاجًا للسرطان أو للسل؟ هل سيمتنعون عنه حتى تنضم ألمانيا إلى عصبة الأمم؟»[٣٣])

بعدها عاد أينشتاين إلى ألمانيا لكن عودته كانت في ظل اضطرابات سياسية كبيرة تمر بها البلاد، حتى إن تلك الفترة عرفت بموسم الاغتيالات السياسية؛ فعام ١٩١٩ اغتيل روسا لوكسمبورج وكارل ليبنيخت القياديين الاشتراكيين البارزين، وفي أبريل/نيسان عام ١٩٢٢ اغتيل فالتر راتيناو عالم الفيزياء اليهودي الذي كان زميلًا لأينشتاين ثم تقلد بعد ذلك منصب وزير الخارجية في الحكومة الألمانية، وكان قد أطلق عليه الرصاص من مدفع نصف آلي وهو في سيارته، وبعدها بأيام قليلة أصيب ماكسميليان هاردن القيادي اليهودي البارز بجراح خطيرة في محاولة فاشلة لاغتياله.

أُعْلِن يوم حداد وطني تكريمًا لراتيناو وأغلقت المسارح والمدارس والجامعات، ووقف مليون مواطن صامتين بجوار مقر البرلمان حيث أقيمت مراسم التأبين، لكن فيليب لينارد رفض أن يلغي محاضرته في معهد الفيزياء بهايدلبرج. (وكان لينارد قد أعلن قبل هذا تأييده لقتل راتيناو[٣٤]، وفي يوم الحداد الوطني حاول مجموعة من العمال إقناعه بإلغاء محاضرته لكنه ألقى عليهم ماء من شرفة الطابق الثاني للمعهد، فما كان منهم إلا أن اقتحموا المبنى وجروه قسرًا إلى الخارج وحاولوا إلقاءه في النهر لكن الشرطة تدخلت ومنعتهم.)

وفي العام نفسه أدين الشاب الألماني رودولف ليبوس في برلين بتهمة رصد مكافأة لمن يقتل أينشتاين وبعض العلماء الآخرين حيث قال: «إنه لمن قبيل الواجب الوطني قتل دعاة السلام هؤلاء.»[٣٥] لكن المحكمة التي أدانته اكتفت بتغريمه ستة عشر دولارًا. (كان أينشتاين يأخذ تلك التهديدات على محمل الجد سواء جاءته من معادي السامية أو من أناس مضطربين عقليًّا، وحدث ذات مرة أن قامت إحدى المهاجرات الروسيات وتدعى يوجينيا ديكسون، وكانت غير مستقرة عقليًّا، بكتابة عدد من خطابات التهديد الجنونية لأينشتاين تصفه فيها بأنه زائف ومنتحل لشخصية أينشتاين الحقيقية،[٣٦] ولم تكتف بهذا بل اقتحمت منزله محاولة قتله، لكن إلسا أدركت تلك المرأة المجنونة وصارعتها لدى باب المنزل حتى استطاعت السيطرة عليها ثم استدعت الشرطة.)

ولما رأى أينشتاين موجة العداء للسامية تلك تكاد تغمره انتهز فرصة دعوة وجهت إليه وقام برحلة جديدة لكنه في هذه المرة توجه صوب الشرق؛ كان الفيلسوف والرياضي الكبير برتراند راسل في رحلة إلى اليابان بهدف إلقاء مجموعة من المحاضرات فيها، فطلب منه مضيفوه أن يرشح لهم بعض الشخصيات المشهورة في العالم كي يدعوهم للتحدث في اليابان، فرشح لهم لينين وأينشتاين، لكن لأن قدوم لينين لم يكن متاحًا، بطبيعة الأمر، فقد ذهبت الدعوة إلى أينشتاين، فلباها وبدأ رحلته الأسطورية في يناير/كانون الثاني من عام ١٩٢٣ وكتب عن هذا: «إن الحياة أشبه بركوب الدراجة، لكي يستطيع المرء المحافظة على توازنه لا بد أن يستمر في الحركة.»[٣٧]

وبينما هو في طريقه إلى اليابان والصين تلقى أينشتاين برقية من ستوكهولم تحمل الرسالة التي رآها كثير من الناس قد أتت متأخرة جدًّا، أكدت البرقية فوزه بجائزة نوبل في الفيزياء، لكن ليس عن نظرية النسبية التي هي إنجازه الأهم بل عن أبحاثه في التأثير الكهروضوئي، لكن أينشتاين عندما ألقى خطاب الجائزة بعد ذلك بعام صدم الجمهور كعادته فتحدث عن النسبية فقط ولم يتحدث عن التأثير الكهروضوئي.

السؤال هنا: ما الذي أخر فوز أينشتاين بجائزة نوبل كل هذا الوقت وهو الذي كان أشهر علماء الفيزياء وأعلاهم مكانة؟! المفارقة أن لجنة نوبل

رفضت منحه الجائزة ثمان مرات في الفترة ما بين عامي ١٩١٠ و١٩٢١، مع أنه خلال تلك الفترة أُجريت تجارب عديدة أكدت صحة النسبية، فيما بعد اعترف سفين هيدين الذي كان أحد أعضاء اللجنة المرشحة للجائزة أن سبب التأخير هو لينارد الذي كان له نفوذ كبير لدى أعضاء لجنة التحكيم جميعًا بما فيهم هيدين نفسه، ويروي الفيزيائي روبرت ميليكان الحاصل على جائزة نوبل أن اللجنة انقسمت على نفسها ما بين مؤيد للنسبية ومعارض لها حتى انتهت أخيرًا إلى إيكال مهمة تقييم النظرية لأحد أعضائها، «ففرغ هذا الرجل نفسه كلية لدراسة النسبية لكنه لم يتمكن من فهمها، فلم تخاطر اللجنة بمنح الجائزة لأينشتاين خشية أن يتبين بعد ذلك عدم صحتها.»[٣٨]

بر أينشتاين بوعده وأرسل قيمة الجائزة لميليفا وهو الأمر الذي كان ضمن اتفاق الطلاق (كانت قيمة هذه الجائزة عام ١٩٢٣ اثنين وثلاثين ألف دولار أمريكي)، وبهذه الأموال اشترت ميليفا بعد ذلك ثلاث شقق في زيورخ.

خلال عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين برز أينشتاين على الساحة العالمية كشخصية بارزة،[٣٩] حيث تسابق محررو الصحف للفوز بحوارات صحفية معه وصار وجهه الباسم لا يفتأ يطل على الناس من معظم الإصدارات الصحفية، وانهالت عليه الدعوات المتوسلة لإلقاء محاضرات، واهتم الصحفيون بكل مهم وتافه في حياته، حتى إنه علق على هذا متهكمًا أنه صار كالملك ميداس غير أن أي شيء يلمسه لا يتحول إلى ذهب بل إلى عنوان صحفي عريض. وبلغ الأمر إلى حد أنه حينما كُلف طلبة دفعة عام ١٩٣٠ في جامعة نيويورك بأن يختاروا أكثر شخصيات العالم شعبية جاء أينشتاين في المرتبة الثانية بعد تشارلز لندبيرج متفوقًا على جميع نجوم هوليوود. وأينما يذهب أينشتاين تجتمع الجماهير حوله، بل إن أي شيء يتصل به كان يشد اهتمام الناس، فعلى سبيل المثال تجمع ذات مرة حشد من الناس بلغ أربعة آلاف وكادوا يحدثون شغبًا عندما حاولوا اقتحام متحف التاريخ الطبيعي في نيويورك لحضور فيلم يشرح نظرية النسبية. وموّل مجموعة من رجال الصناعة بناء برج أينشتاين في بوتسدام بألمانيا، وهو

مرصد شمسي متطور يحوي تلسكوبًا يبلغ ارتفاعه ٥٤ قدمًا (١٦,٥ مترًا) وتم الانتهاء منه عام ١٩٢٤. وتهافت الرسامون والمصورون الفوتوغرافيون عليه يريدون تصوير وجه ذلك العبقري لدرجة أنه صار يعتبر الجلوس أمام هؤلاء الفنانين من مهام وظيفته.

لكنه هذه المرة لم يرتكب الخطأ الذي ارتكبه سابقًا مع ميليفا، فهو لم يهمل إلسا ويتركها أثناء جولاته في بلاد العالم بل اصطحبها معه وقدمها للمشاهير والعوائل الملكية والشخصيات المؤثرة في العالم، وهي بدورها كانت تعشق زوجها وتحترم عالم الشهرة الذي يعيشه، وكانت «طيبة دافئة ذات حنان أمومي بخلاف أنها كانت سيدة برجوازية عتيدة تحرص على العناية بزوجها وتدليله.»[٤٠]

وعام ١٩٣٠ قام أينشتاين برحلته المظفرة الثانية إلى الولايات المتحدة الأمريكية، وحينما زار مدينة سان دييجو علق الفنان الكوميدي ويل روجرز على شخصيته قائلًا: «كان هذا الرجل يأكل ويتحدث مع أي أحد، ولم يرفض طلبًا لتصويره أبدًا، ولم يرد دعوة لغداء أو لعشاء، وحضر افتتاح جميع الأفلام الجديدة وحضر كل عرس جرى في المدينة وثلثي حالات الطلاق بها. في الواقع كان شخصًا ودودًا لدرجة أن أحدًا لم يجرؤ أن يسأله عن نظريته.»[٤١] وزار معهد التكنولوجيا بكاليفورنيا ومرصد جبل ويلسون والتقى إدوين هابل الذي كان قد أثبت من خلال التجارب صحة بعض نظريات أينشتاين عن الكون، وزار أيضًا هوليوود واستقبل فيها استقبالًا حافلًا جديرًا بنجم سينمائي، وعام ١٩٣١ حضر هو وإلسا العرض الافتتاحي العالمي لفيلم «أضواء المدينة» لتشارلي تشابلن وهناك تجمهر الناس محاولين اختلاس نظرة على أشهر علماء العالم وهو محاط بكبار نجوم هوليوود. وأثناء الافتتاح وبينما كان الجمهور يصيح بجنون محييًا تشابلن وأينشتاين علق تشابلن: «إن الناس يصفقون لي لأنهم جميعًا يفهمونني ويصفقون لك لأنه لا يفهمك أحد.»[٤٢] وقد تعجب أينشتاين أشد العجب من الهياج الذي يحدث للناس من مرأى المشاهير والنجوم فسأل تشابلن عما يعنيه هذا الهياج فأجابه الممثل الحكيم: «لا شيء». (عندما زار أينشتاين كنيسة ريفرسايد المشهورة رأى صورته مرسومة على زجاج ملون يغطي إحدى

نوافذها مع عظام الفلاسفة والقادة والعلماء في العالم فقال متفكهًا: «كنت سأصدق لو جعلوا مني قديسًا يهوديًّا لكنني لم أتخيل أبدًا أن أصير قديسًا بروتستانتيًّا.»[٤٣])

واهتم الناس بآراء أينشتاين الفلسفية والدينية؛ فقد اهتمت الصحافة كثيرًا بلقائه مع الشاعر الهندي رابندراناث طاغور الحائز هو الآخر جائزة نوبل، وكانا معًا زوجًا متناغمًا؛ أينشتاين بشعره الأشيب الثائر وطاغور بلحيته البيضاء الطويلة، وعلق أحد الصحفيين على هذا اللقاء قائلًا: «كانت رؤيتهما معًا أمرًا مثيرًا للاهتمام؛ فطاغور شاعر بعقل مفكر، وأينشتاين مفكر بعقل شاعر، والناظر إليهما يرى كوكبين يتحدثان معًا.»[٤٤]

كان لفلسفة كانت التي قرأها أينشتاين في صباه تأثير كبير على فكره الذي صار يتشكك في الفلسفة التقليدية ويراها تافهة مظهرها جميل وجوهرها هراء، وعن هذا كتب: «إن تلك الفلسفة تبدو كما لو كتبت بمداد من العسل حتى إن حديث العهد بها يراها جميلة لكنه بعد حين يدرك خواءها وتفاهتها.»[٤٥] اختلف أينشتاين مع طاغور حول مسألة وجود الكون واستقلاله عن الوجود الإنساني؛ فقد كان طاغور يعتنق الرأي الروحاني الذي يقول إن الوجود الإنساني من أسس الواقع المادي، لكن أينشتاين رد عليه قائلًا: «إن الكون، وهو الذي يتكون من عناصر مادية، يوجد مستقلًّا عن الإدراك الإنساني.»[٤٦] لكنهما برغم خلافهما حول هذه النقطة اتفقا حول مسألة الدين والفضيلة؛ فقد كان أينشتاين يعتقد أن الإنسان هو من يحدد الأخلاق وليس الرب وهو ما يفهم من قوله: «إن الفضيلة شيء في غاية الأهمية فقط لنا لا للرب. وإنني أعتقد أن الإنسان كائن أخلاقي، وإنني أؤمن أن الأخلاق لا تنبع إلا منه ولا تتحكم فيها أي سلطات أخرى تفوقه قوة.»[٤٧]

لكن برغم تشكك أينشتاين في الفلسفة التقليدية كان يكن احترامًا كبيرًا للغيبيات التي ينطوي عليها الدين وخاصة مسألة طبيعة الوجود؛ فقد كتب: «إن العلم بغير الدين يصير كسيحًا، والدين بغير العلم يصير أعمى.»[٤٨] بل إنه اعتبر غيبيات الدين مصدر كل العلوم حين قال: «إن جميع النظريات العلمية تقوم على حس ديني عميق؛ فإن أجمل التجارب

والخبرات التي يمر بها الإنسان وأعمقها هي حسه بالغيب، وهو الحس الذي يشترك فيه الدين مع العلم والفن.»[٤٩] «وإذا كان هناك جزء مني يعتبر متدينًا فهو إعجابي اللامحدود ببنية الكون بالشكل الذي يفسره العلم.»[٥٠] غير أن أروع كتابته عن الدين وأكثرها صراحة كانت عام ١٩٢٩ حين قال: «إنني لست ملحدًا ولا أظنني ممن يعتقدون في وحدة الوجود. إننا كبشر نشبه الطفل الذي دخل مكتبة ضخمة مليئة بكتب مكتوبة بلغات عدة، إنه يدرك أن أحدًا ما كتب هذه الكتب لكنه لا يعرف كيف ولا يفهم أيًّا من اللغات المكتوبة بها، إن الطفل في هذه الحالة يعتقد في وجود نظام غيبي يحكم ترتيب هذه الكتب لكنه لا يعلم ماهيته. وفي ظني أن هذه هي الطريقة التي يرى بها أكثر الناس ذكاء ربهم، فالبشر يرون الكون منظمًا بشكل مذهل ويخضع لقوانين محددة لكنهم لا يفهمون من هذه القوانين إلا القليل. فعقولنا المحدودة لا تستطيع إدراك القوى الغامضة التي تحكم حركة المجموعات النجمية. إنني مبهور بمبدأ وحدة الوجود الذي وضعه سبينوزا لكنني معجب أكثر بإسهاماته في الفكر الحديث لأنه أول فيلسوف يتعامل مع الروح والجسد ككل واحد لا عنصرين منفصلين.»[٥١]

كان أينشتاين عادة يفرق بين نوعين من الأرباب لكن الناس يخلطون بينهما حين يناقشون الأديان؛ النوع الأول هو: الرب الشخصي الذي يجيب الدعاء ويفلق صفحة اليم ويأتي بالمعجزات، ذاك هو الرب التوراتي، الرب الذي يتدخل لتسيير الأمور. أما النوع الثاني فهو: الرب الذي يؤمن أينشتاين به، رب سبينوزا الذي خلق مجموعة من القوانين التي تحكم الكون.

وحتى في خضم ذلك السيرك الإعلامي الذي نصب حوله، لم يتشتت تركيز أينشتاين ويتلهى عن المهمة التي نذر نفسه لها وهي سبر أغوار تلك القوانين الكونية؛ فهو حين يكون على متن السفن التي تعبر الأطلنطي أو في رحلات طويلة بالقطار يبتعد عن جميع الملهيات ويركز على عمله؛ فلم يكن يهمه في تلك الفترة إلا أن تستطيع معادلاته تفسير بنية الكون.



الفصل السادس

الانفجار العظيم والثقوب السوداء

هل كانت للكون بداية؟ أهو كون محدود أم غير محدود؟ هل ستكون له نهاية؟ تلك هي الأسئلة التي واجهها أينشتاين، ومن قبله نيوتن، عندما بدأ يتساءل عما ستكشفه نظريته عن النظام الكوني؛ أسئلة أثارت حيرة علماء الفيزياء قرونًا عديدة.

عام ١٦٩٢، بعد خمس سنوات من انتهاء نيوتن من تحفته العلمية «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية»، تلقى رسالة من القس ريتشارد بنتلي أربكته، أشار بنتلي في هذه الرسالة إلى أنه لو كانت قوة الجاذبية تجذب فقط ولا ترد فمعنى هذا أن أي مجموعة نجمية ثابتة سوف تتداعى بالضرورة على نفسها. كانت هذه الملحوظة خطيرة جدًّا على الرغم من بساطتها، فهي تعني أن الكون ليس بالثبات الذي يبدو عليه وأن قوى الجاذبية الكونية بعد فترة زمنية معينة سوف تسبب انهيار الكون بأكمله. وضع بنتلي يده على المشكلة الأساسية التي واجهت جميع النظريات الكونية، وهي أنه إن كانت هناك قوة تجذب الكون فإن الكون بلا شك متحرك وغير مستقر.

بعد أن تفكر نيوتن في هذا السؤال المؤرق كتب خطابًا إلى بنتلي يقول فيه إن الحائل بين الكون وانهياره لا بد أن يكون تكونه من مجموعة متماثلة ولانهائية من النجوم. وإذا كان الكون بالفعل غير محدود فمعنى هذا أن كل نجم من النجوم ينجذب بنفس القدر من القوة إلى جميع الاتجاهات، مما يعني أن الكون ثابت حتى لو كانت قوى الجاذبية تشده، وجاء في خطاب نيوتن أيضًا: «إذا كانت المادة تنتشر بانتظام في فضاء غير محدود

فلن تستطيع أن تتجمع في كتلة واحدة ... وهذا هو ما يجعل الشمس والنجوم ثابتة في مواقعها.»[1]

لكن هذا الافتراض يثير مشكلة أكبر تعرف باسم «تناقض أولبر»، وهي تطرح سؤالًا بسيطًا: لماذا تكون السماء سوداء في الليل؟ إذا كان الكون بالفعل غير محدود وثابت ومتسق فلا بد إذن أن نرى السماء ملأى بعدد لانهائي من النجوم تضرب أضواؤها أعيننا من جميع الاتجاهات، وتكون السماء في الليل بيضاء لا سوداء. أي أنه إذا كان الكون متسقًا ومحدودًا فسوف ينهار، أما إذا كان غير محدود فسوف تغدو السماوات كأتون مشتعل.

وبعدما يربو من قرنين من الزمان واجه أينشتاين ذات المسألة وإن كانت في صورة أخرى؛ فحتى عام ١٩١٥ كان الناس يظنون الكون مكانًا بسيطًا يتكون من مجرة ثابتة وحيدة تدعى مجرة الطريق اللبني، أما تلك الأضواء التي تبدو مبعثرة في السماء ليلًا فما هي إلا مليارات من النجوم. غير أن أينشتاين بعدما خرج بمعادلاته وجد شيئًا غريبًا وغير متوقع؛ فقد رأى أن الكون مملوء بغاز متسق يقارب بين النجوم وسحب الغبار. وكان ما أثار رعبه أن الكون وفقًا لافتراضه متحرك يتمدد وينكمش ولا يستقر أبدًا على حال، ولم يمر وقت طويل حتى وجد نفسه غارقًا في ذات الأسئلة الكونية التي طالما حيرت الفلاسفة والمشتغلين بالفيزياء من أمثال نيوتن لعصور مديدة، لكنه أدرك جيدًا أنه لا يمكن لكون محدود أن يظل مستقرًّا في نطاق الجاذبية.

لكن أينشتاين لم يكن مستعدًّا بعد للتخلي عن صورة الكون السرمدي الثابت، وبرغم نزعته الثورية المعهودة لم يجد في نفسه الجرأة ليتقبل حقيقة أن الكون آخذ في التمدد أو أنه كانت له بداية. ولكي يخرج من هذا المأزق أتى بحل هزيل نوعًا ما، فعام ١٩١٧ أضاف إلى معادلاته عاملًا يمكننا أن نسميه «عامل التحايل» وكان هذا العامل هو «الثابت الكوني»، افترض هذا العامل وجود قوة طاردة مضادة للجاذبية تخلق نوعًا من أنواع التوازن، وهو ما يعني أن ثبات الكون هذا مصطنع وليس طبيعيًّا.

كان وراء هذا الحل الملتوي ملاحظة أينشتاين أن المتغير المشارك، الذي هو المبدأ الرياضي الأساسي الذي يحكم النسبية العامة، يسمح بفكرتين

محتملتين تتوافقان معه وهما: انحراف ريتشي (الذي يشكل أساس النسبية العامة)، والزمكان، وهو ما مكنه من إضافة عامل آخر إلى معادلاته يتسق مع المتغير المشارك العام ويتناسب مع وحدة الكون، بعبارة أخرى نقول إن الثابت الكوني يؤكد أن الفراغ يحوي طاقة، وصار هذا العامل المضاد للجاذبية يسمى اليوم «الطاقة السوداء» وهي الطاقة الموجودة في العدم والقادرة على دفع المجرات بعيدًا بعضها عن بعض أو المقاربة بينها. حدد أينشتاين قيمة الثابت الكوني بدقة بحيث يعادل الانكماش الناتج عن الجاذبية بالضبط مما يجعل الكون ساكنًا، غير أنه لم يكن سعيدًا بهذا الحل الذي بدا كحيلة رياضية، ولم يكن لديه خيار آخر لكي يبقي الكون ساكنًا. (لكن الفلكيين بعد ثمانين عامًا وجدوا دليلًا على وجود الثابت الكوني، الذي يرى فيه العلماء اليوم المصدر الرئيسي للطاقة في الكون.)

غير أن المسألة ازدادت تعقيدًا خلال السنوات القليلة التي تلت ذلك بظهور حلول جديدة لمعادلات أينشتاين؛ فعام ١٩١٧ صرح الفيزيائي الهولندي ويليام دي سيتر بأن هناك حلًّا ممكنًا لمعادلات أينشتاين على الرغم من غرابته، وهو أنه حتى إذا خلا الكون من المادة فسوف يظل يتمدد وكل ما يحتاجه هو الثابت الكوني لكي يحكمه، لكن هذا الحل لم يرق لأينشتاين الذي كان لا يزال، كما كان ماخ من قبله، يؤمن بأن طبيعة الزمكان تتحدد من خلال ما يحتوي عليه الكون من مادة، أما ما يقوله دي سيتر فهو أن الكون يتمدد بصرف النظر عن المادة ولا يحتاج إلا إلى الطاقة السوداء كي تدفعه إلى الأمام.

أما الخطوات النهائية التي غيرت الفكر السائد عن هذه المسألة تغييرًا جذريًّا فقد اتخذها كل من ألكزاندر فريدمان عام ١٩٢٢ والقس البلجيكي جورج لوماتر عام ١٩٢٧ اللذين أكدا أن معادلات أينشتاين تقود بشكل طبيعي إلى مبدأ تمدد الكون، وجد فريدمان حل معادلات أينشتاين يكمن في أنها تقوم على حقيقة أن الكون متجانس ومتسق بحيث تتمدد فيه أشعة الضوء وتنكمش. (لسوء الحظ توفي فريدمان عام ١٩٢٥ في لينتجراد بفعل حمى تيفودية قبل أن يجد الفرصة لتوضيح فكرته تلك.) من خلال تصور فريدمان-لوماتر تتبدى لنا ثلاثة حلول ممكنة لمعادلات أينشتاين تقوم على

كثافة الكون؛ (١) إذا زادت كثافة الكون عن قيمة حرجة معينة حينها سوف يحدث ارتداد لهذا التمدد بفعل الجاذبية ويبدأ الكون في الانكماش. (تقدر قيمة الكثافة الحرجة تقريبًا بعشر ذرات هيدروجين لكل ياردة مكعبة)، وهذا سوف يجعل انحناء الكون إيجابيًّا (وهو ما يعني بالتالي أن انحناء كلا نصفيه سيكون إيجابيًّا أيضًا). (٢) أما إذا كانت كثافة الكون أقل من القيمة الحرجة فلن تكون قوة الجاذبية كافية لعكس هذا التمدد لذا سوف يتمدد الكون إلى ما لا نهاية. (في النهاية سوف تقترب درجة حرارة الكون من الصفر المطلق بينما يتمدد حتى يصل إلى منطقة «التجمد الأعظم».) وفي تلك الحالة سوف يكون الانحناء الكلي للكون سلبيًّا (وبالتماثل سنجد انحناء سرج الحصان أو بوق آلة الترومبيت سلبيًّا) (٣) الحل الأخير هو أن يكون الكون متوازنًا تمامًا على القيمة الحرجة (وفي هذه الحالة أيضًا سوف يظل يتمدد بلا حدود)، في هذا الكون سوف يساوي الانحناء صفرًا ويكون الكون مسطحًا، مما سبق نستنتج أن مصير الكون يمكن أن يتحدد بكل بساطة عن طريق قياس متوسط كثافته.

عند هذه المرحلة صارت تلك المسألة غاية في التعقيد بعد أن وجدت ثلاث نماذج كونية توضح المنهج الذي سوف يتطور الكون من خلاله (نموذج أينشتاين، ونموذج دى سيتر، ونموذج فريدمان-لوماتر). ولم يحدث جديد في هذه المسألة حتى عام ١٩٢٩ حينما حسمها الفلكي إدوين هابل عن طريق النظريات التي خرج بها وكان من شأنها أن تغير أسس علم الفلك القديم؛ كان أول ما فعله هو أن هدم نظرية المجرة الوحيدة بالتأكيد على وجود مجرات أخرى تبتعد كثيرًا عن مجرة الدرب اللبني. (في عام واحد تحول الكون من مكان بسيط يتألف من مجموعة قوامها مئات المليارات من النجوم تضمها مجرة وحيدة، إلى مكان يتألف من مليارات المجرات التي تحتوي على مليارات النجوم.) رأى هابل أنه من المحتمل وجود مليارات المجرات الأخرى أقربها إلى الأرض مجرة أندروميدا التي تبعد عنها نحو مليوني سنة ضوئية. (تعود كلمة «مجرة» إلى الكلمة اليونانية التي تعني «لبن» لأن الإغريق ظنوا أن مجرة الدرب اللبني نشأت لأن الآلهة سكبت لبنًا على سماء الليل المظلمة.)

كان هذا الكشف الصادم وحده كفيلًا بوضع هابل في مكانة عالية مع الفلكيين العظام، لكنه لم يتوقف عند هذا الحد، فعام ١٩٢٨ قام برحلة مهمة إلى هولندا والتقى بدي سيتر الذي قال إن نسبية أينشتاين العامة تؤدي إلى فكرة تمدد الكون من خلال علاقة بسيطة بين الانزياح الأحمر والمسافة، فكلما بعدت المجرة عن الأرض زادت سرعة ابتعادها (هذا الانزياح الأحمر يختلف شيئًا ما عن الانزياح الأحمر الذي افترضه أينشتاين عام ١٩١٥، فهذا الانزياح الحديث تسببه المجرات التي تتقهقر عن الأرض والتي يحتويها كون متمدد، فمثلًا إذا تحرك نجم أصفر مبتعد عنا فإن سرعة شعاع الضوء ستظل ثابتة بينما «سيستطيل» طوله الموجي ولهذا سيكتسب النجم الأصفر بعض الحمرة. وبالمثل إذا اقترب نجم أصفر من الأرض فسوف ينكمش طوله الموجي وينضغط كالأكورديون ويزرق لونه نوعًا.)

وعندما رجع هابل إلى مرصده بجبل ويلسون شرع في عملية منظمة لدراسة الانزياح الأحمر لتلك المجرات ليتأكد من الرأي السابق، كان يعلم أنه عام ١٩١٢ ذكر فيستو ملفن سليفر أن هناك سُدُمًا كونية توجد على مسافات بعيدة وتتحرك متقهقرة عن الأرض هي المسئولة عن الانزياح الأحمر، ويومها توصل هابل إلى أن الانزياح الأحمر يأتي من هذه المجرات المتقهقرة، ومعنى هذا أن الكون آخذ في التمدد بسرعة خارقة، ومن ثم اكتشف أن بياناته التي خرج بها توافق نظرية دي سيتر، واليوم صار هناك قانون يعرف بـ«قانون هابل» يقول إنه كلما زادت سرعة المجرة في تقهقرها عن الأرض كانت أبعد عن الأرض (والعكس صحيح).

وكما هي النتائج التي خرجت بها النسبية العامة وجد هابل خطًّا شبه مستقيم على المنحنى يقابل بين المسافة والسرعة وأطلق على انحنائه «ثابت هابل»، وكان هابل نفسه يتوق لمعرفة كيفية انطباق النتائج التي خرج بها على نظرية أينشتاين. (للأسف كان نموذج أينشتاين يحتوي على المادة لكن دون الحركة، في حين كان نموذج دى سيتر يحتوي على الحركة دون المادة، ولهذا فقد توافقت نتائجه أكثر مع نموذج فريدمان-لوماتر الذي جمع بين المادة والحركة.) وعام ١٩٣٠ ذهب أينشتاين إلى مرصد جبل

ويلسون حيث التقى هابل للمرة الأولى. (حينما تفاخر الفلكيون أمام إلسا بتلسكوبهم الضخم الذي يبلغ طوله مائة بوصة ويعد أضخم تلسكوب في العالم في ذاك الوقت والقادر على وصف بنية الكون، ردّت بعدم اكتراث قائلة: «إن زوجي يفعل هذا على ظهر مظروف خطابات قديم.»[٢]) وعندما شرح هابل لأينشتاين النتائج التي حصل عليها بعد عناء شديد من خلال تحليل سرعات المجرات التي تبتعد عن الدرب اللبني كل على حدة، أقر أينشتاين بأن الثابت الكوني هو أكبر الأخطاء التي ارتكبها في حياته وبأن الكون يتمدد بالفعل تمامًا كما اكتشف هو قبل عشر سنين.

علاوة على هذا كانت معادلات أينشتاين تقدم أبسط السبل لفهم قانون هابل؛ فإذا تخيلنا أن الكون بالون آخذ في التمدد، والمجرات هي نقاط مرسومة عليه، وأتت نملة واستقرت على إحدى هذه النقاط، حينها ستجد النملة النقاط الأخرى تتباعد عنها، وبالمثل كلما كانت تلك النقاط بعيدة عن النملة زادت سرعتها في الابتعاد كما هو منصوص عليه في قانون هابل، وهكذا تمكنت معادلات أينشتاين من تقديم أجوبة على أسئلة قديمة على غرار: هل للكون حد؟ وإذا كان حد الكون جدارًا فماذا يوجد خلف هذا الجدار؟ وقد يكون كولومبوس أجاب عن هذا السؤال عندما حدد شكل الأرض. إذا نظرنا للأرض على أنها ثلاثية الأبعاد فهي محدودة (فما هي في هذه الحالة إلا كرة تسبح في الفضاء)، لكن إذا اعتبرناها ثنائية البعد ستغدو غير محدودة (لأن المرء يستطيع الطواف حول محيطها إلى ما لا نهاية) فأي إنسان يمشي على سطحها لن يدرك نهايتها أبدًا، ومعنى هذا أن الأرض قد تكون محدودة وقد تكون غير محدودة وفقًا لعدد الأبعاد التي نراها من خلالها، لكننا إذا طبقنا هذه النظرية على الكون فسنجده يصير غير محدود إذا اعتبرناه ثلاثي الأبعاد؛ فليس هناك في الفضاء جدار يمثل نهاية الكون، وإذا أطلقنا صاروخًا في الفضاء فلن يصطدم بجدار كوني، لكن هناك احتمالًا بأن يكون الكون محدودًا إذا اعتبرناه رباعي الأبعاد. (فإذا كان الكون أشبه بكرة رباعية الأبعاد أو فضاء متعدد الأبعاد فقد يستطيع المرء الذي يعيش فيه أن يدور دورة كاملة حول الكون ويعود حيث كان، وفي كون كهذا يصير أبعد شيء يمكن أن يراه المرء من خلال تلسكوب هو ظهر يده.)

وإذا كان الكون يتمدد بمعدل ثابت فمن الممكن النظر إليه بشكل عكسي وإجراء حساب تقريبي للزمن الذي بدأ فيه هذا التمدد، بعبارة أخرى نقول إن الكون كانت له بداية ويمكن لنا أن نحدد تلك البداية (عام ٢٠٠٣ أظهرت بيانات الأقمار الصناعية أن عمر الكون يبلغ ١٣,٧ مليار عام). وعام ١٩١٣ وضع لوماتر نظرية معينة عن مولد الكون تفترض أنه حدث تحت حرارة فائقة، وإذا نظرنا إلى معادلات أينشتاين متتبعين نتائجها المنطقية فسوف نخلص إلى أن بداية الكون كانت كارثة كبرى.

وعام ١٩٤٩ كان عالم الكونيات فريد هويل هو أول من اصطك لهذه النظرية اسم الانفجار العظيم، وجرى هذا خلال حوار له عبر إذاعة البي بي سي. لكنه لم يكن يروج لهذه النظرية بل على العكس كان يعارضها ويروج لنظرية أخرى، وكما يروى عن هذا الموقف نطق هويل بهذا الاسم على سبيل الإهانة (برغم أنه أنكر هذا فيما بعد). لكن هناك حقيقة لا بد من توضيحها هنا وهي أن هذه التسمية مغلوطة ولا تدل على جوهر النظرية على الإطلاق، فلا بدأ الكون كبيرًا ولا هو انفجر، بل إنه بدأ متناهيًا في الصغر ولم ينفجر أبدًا بل كان تمدده هو ما دفع النجوم لأن تتباعد.

لم تكتف نسبية أينشتاين العامة بما خلصت إليه من نتائج وما قدمته من مفاهيم مثل تمدد الكون والانفجار العظيم، ولكنها قدمت أيضًا مفهومًا آخر أثار اهتمام الفلكيين للغاية وهو الثقوب السوداء؛ عام ١٩١٦ وبعد عام واحد من نشر أينشتاين لنظرية النسبية العامة تلقى خبرًا أثار دهشته مفاده أن الفيزيائي كارل شفارتزشيلد طبّق معادلاته على نجم واحد يراه الرائي كالنقطة. كان أينشتاين أثناء وضع النظرية لا يستخدم إلا الحسابات التقريبية في المعادلات لأن حسابات النظرية غاية في التعقيد، لكن شفارتزشيلد أطرب قلبه حين قدم له تطبيقًا محكمًا ليس به أي حساب تقريبي. كان شفارتزشيلد مدير مرصد الفيزياء الفضائية في بوتسدام، لكنه مع هذا تطوع لمحاربة الروس ضمن صفوف الجيش الألماني. المدهش أنه نجا من أتون الحرب المستعر واستطاع مواصلة عمله كعالم فيزيائي وهو في صفوف الجيش؛ فهو لم يكتف بحساب مسار قذائف المدافع لمصلحة الجيش الألماني بل حل كذلك معادلات أينشتاين حلًّا دقيقًا، وإلى اليوم لا

يزال هذا الحل يعرف بـ«حل شفارتزشيلد». (لكنه للأسف لم يعش ليجني ثمار ما قدم من إسهام للعلم؛ فقد مات هذا العالم الواعد وهو في الثانية والأربعين من عمره بعد أشهر قليلة من نشر بحثه، بسبب مرض جلدي نادر أصابه أثناء قتاله على الجبهة الروسية، وكان موته خسارة كبيرة للعلم، وقد رثاه أينشتاين بخطبة مؤثرة ظهر فيها أن موت هذا العالم عزز من كراهيته للحروب التي لا ترحم.)

غير أن حل شفارتزشيلد الذي أحدث ضجة في الأوساط العلمية كانت له تبعات غريبة، فقد وجد شفارتزشيلد أن الجاذبية تكون في منتهى الشدة في المنطقة التي تقترب جدًّا من النجم الذي طبق عليه النظرية حتى إن الضوء نفسه لا يستطيع الهروب من مجالها مما يجعل النجم غير مرئي، ولم يكن هذا يتعارض فقط مع نظرية الجاذبية التي وضعها أينشتاين بل يتعارض أيضًا مع نظرية نيوتن. عام ١٧٨٣ طرح جون ميتشل رئيس جامعة ثورنهيل بإنجلترا سؤالًا عما إذا كان ممكنًا أن يصير نجم ما من الضخامة بحيث لا يستطيع الضوء أن يهرب منه، لم تكن حساباته القائمة على قوانين نيوتن جديرة بالثقة لأنه لم يكن أحد يعرف بدقة مقدار سرعة الضوء، لكن استنتاجاته كانت أهم من أن ترفض؛ فمن الناحية النظرية يمكن أن يكون نجم ما ضخمًا للغاية بحيث يدور الضوء حوله ولا يغادره. عقب هذا بثلاثة عشر عامًا أصدر العالم الرياضي بيير سيمون لابلاس كتابه الشهير «توضيح نظام العالم» وطرح فيه سؤالًا عما إذا كان وجود هذه «النجوم السوداء» ممكنًا بالفعل (لكن الأرجح أنه وجد الإجابة غريبة جدًّا لأنه حذفها من الطبعة الثالثة من الكتاب). وبعد مئات السنين عاد هذا السؤال يطرح مجددًا بفضل شفارتزشيلد الذي وجد أن هناك «دائرة سحرية» تحيط بالنجم تسمى اليوم «أفق الحدث» تطرأ فيها تغييرات معقدة على الزمكان، وبين شفارتزشيلد أن أي إنسان تعس الحظ يتجاوز أفق الحدث هذا لن يتمكن من العودة أبدًا (فهو يحتاج لأن ينطلق بسرعة أكبر من سرعة الضوء كي يستطيع الهرب منها وهو الأمر المستحيل بالطبع.) ولا يستطيع أي شيء داخل أفق الحدث مهما كان أن يفلت من قبضته وحتى الضوء نفسه لا يغادره بل يظل يدور حول النجم إلى الأبد، ولهذا يبدو النجم من بعيد غارقًا في الظلام.

اليوم يستطيع المرء استخدام حل شفارتزشيلد لحساب كم المادة الاعتيادية اللازمة للوصول بعد انضغاطها إلى الدائرة السحرية التي تسمى اليوم «دائرة شفارتزشيلد» وكذلك لتحديد النقطة التي عندها ينهار النجم تمامًا، تم حساب دائرة شفارتزشيلد بالنسبة للشمس فقدرت بثلاثة كيلومترات وهو ما يعادل أقل من ميلين، أما بالنسبة للأرض فقد قدرت بأقل من سنتيمتر واحد (ولأن تقدير عامل الانضغاط كان يفوق قدرات الفيزيائيين في العقد الأول من القرن العشرين فقد افترضوا أنه لن يتمكن أحد من تحقيق هذه المهمة الخارقة.) لكن أينشتاين كان كلما تعمق في دراسة خصائص تلك النجوم التي أطلق عليها الفيزيائي جون ويلر فيما بعد اسم «الثقوب السوداء» وجدها تزداد غرابة. فمثلًا إذا سقط أحدهم في ثقب أسود فلن يستغرق أكثر من جزء من الثانية كي يهوي من خلال أفق الحدث، وبينما هو يسبح وراءه سيرى الضوء يدور في الثقب الأسود وقد يكون هذا الضوء قد دخل إليه قبل مليارات السنين أو منذ بدء الكون ذاته. وحينما يصل إلى المللي ثانية الأخيرة لن يكون الأمر سارًّا أبدًا ففيها تتعاظم قوة الجاذبية للدرجة التي تنسحق معها ذرات جسده، فيموت ميتة شنيعة، لكن إذا استطاع أحد أن يراقبه من بعيد وهو يموت فسيرى صورة مختلفة تمامًا؛ فالضوء المنبعث من جسده سيستطيل بفعل الجاذبية فيبدو جسده كأنما هو متجمد في الزمن ويظل يدور حول الثقب الأسود إلى الأبد.

إن هذه النجوم من العجب بمكان أن معظم الفيزيائيين لم يصدقوا في إمكانية وجودها في الكون، وكما قال إدنجتون: «لا بد أن هناك قانونًا للطبيعة يمنع النجوم من أن تسلك ذلك المسلك العبثي.»[٢] وحاول أينشتاين عام ١٩٣٩ أن يبرهن رياضيًّا على أن وجود هذه الثقوب السوداء مستحيل فبدأ بدراسة تشكيلات النجوم حيث هي مجموعة من الجسيمات تسبح في الفضاء في مسارات دائرية وتتجاذب تدريجيًّا بفعل قوى الجاذبية المنبعثة منها، أظهرت حسابات أينشتاين أن هذه الجسيمات الدوارة هي بالفعل آخذة في الانكماش بشكل تدريجي لكن حجمها النهائي سوف يزيد عن دائرة شفارتزشيلد بمقدار مرة ونصف وهو ما يعني انعدام إمكانية تكون الثقوب السوداء.

ومع أن حسابات أينشتاين بدت محكمة فإنه على ما يبدو أغفل احتمالية انفجار المادة نفسها الذي سينتج عن التأثير الساحق لقوى الجاذبية والذي سيطبق على جميع القوى النووية للمادة. وفي العام نفسه نشر كل من جيه روبرت أوبنهايمر وتلميذه هارتلاند سنايدر بحثًا أجريا فيه هذه الحسابات الأكثر تفصيلًا، وبدلًا من أن يفترضا وجود مجموعة من الجسيمات تدور بالفضاء، افترضا وجود نجم ساكن وعلى قدر من الضخامة بحيث تسيطر قوة جاذبيته على جميع القوى الكمية التي بداخله، وللتمثيل نضرب مثلًا بنجم نيوتروني يتألف من كرة كبيرة من النيوترونات تماثل في حجمها حجم حي مانهاتن (عرضها ٢٠ ميلًا) وتقوم بدور نواة ضخمة. الشيء الذي يحول دون انهيار كرة النيوترونات تلك هو قوة فيرمي التي تمنع بقاء أكثر من جسيم واحد ذي عدد كمي معين (كما هو الحال في المغزل مثلًا) في حالة واحدة. إذا كانت قوة الجاذبية بالكبر الكافي حينها فسيتأتى التغلب على قوة فيرمي وتقليص حجم النجم حتى يصل إلى حجم دائرة شفارتزشيلد، وهو ما يعني أنه لا يوجد مانع علمي من انهيار النجوم، لكن كل هذه كانت افتراضات حيث لم تكتشف النجوم النيوترونية والثقوب السوداء إلا بعد هذا بثلاثة عقود كاملة.

وبرغم تشكك أينشتاين في الثقوب السوداء، فإنه كان على ثقة تامة من أحد اكتشافاته الأخرى وكان يؤمن بأن الأيام ستثبت صحته وهذا الاكتشاف هو موجات الجاذبية. كما ذكرنا في السابق كان أهم إنجازات معادلات ماكسويل هو النظرية التي تقول إن المجالات الكهربية والمغناطيسية المتذبذبة قادرة على خلق موجات متحركة يمكن ملاحظتها. وبالمثل حاول أينشتاين أن يخرج من معادلاته بنظرية عن موجات الجاذبية، هذه الموجات تتعارض مع قوانين نيوتن لأن تلك القوانين تنص على أن قوة الجاذبية ذات تأثير فوري ينتقل إلى جميع أرجاء الكون ويؤثر على جميع الأجسام في ذات اللحظة، لكن النسبية العامة تؤكد بشكل أو بآخر على وجود موجات الجاذبية لأنها تقضي بأن سرعة تذبذب مجال الجاذبية لا يمكن أن تتعدى سرعة الضوء، وهذا يعني أنه لو وقع حدث جائح كاصطدام بين ثقبين أسودين مثلًا فسينتج عنه موجة جاذبية صادمة تتحرك بسرعة الضوء.

عام ١٩١٦ كان أينشتاين قادرًا على توضيح أنه بحسابات تقريبية بسيطة يمكن لمعادلاته إثبات وجود حركة موجية لقوى الجاذبية، تنتشر في جميع أرجاء الزمكان بسرعة الضوء. وعام ١٩٧٣ تمكن ناثان روزن بالاشتراك مع تلميذه من التوصل إلى حل دقيق لمعادلاته التي ترسم موجات الجاذبية دون اللجوء للتقريب مطلقًا. ومنذ تلك اللحظة صارت موجات الجاذبية من أهم الأفكار التي تطرحها النسبية العامة وأكثرها ثباتًا، لكن إثباتها العملي كان صعبًا حتى إن أينشتاين لم يتوقع حدوثه في حياته، خاصة وأنه ظهر من خلال تلك الحسابات أن هذا الإثبات يفوق القدرات العملية المتوفرة في ذلك العصر. (بعد اكتشاف أينشتاين هذا بنحو ثمانين عامًا مُنحت جائزة نوبل لعلماء فيزياء وجدوا أول دليل غير مباشر على موجات الجاذبية. أما الاكتشاف الفعلي لموجات الجاذبية فقد جرى بعد تسعين عامًا من اكتشاف أينشتاين الأول، وقد تكون هذه الموجات هي السبيل الوحيد لاستكشاف نظرية الانفجار العظيم نفسها والتوصل إلى نظرية المجالات الموحدة.)

لكن عام ١٩٣٦ عرض المهندس التشيكي رودي ماندل على أينشتاين فكرة أخرى تقوم على الخصائص الفريدة للزمان والمكان، وتطرح سؤالًا عما إذا كان يمكن استخدام جاذبية أحد النجوم القريبة كعدسة مكبرة تعظم الضوء القادم من النجوم البعيدة. كان أينشتاين قد فكر في هذا الاحتمال سابقًا عام ١٩١٢ ثم تخلى عنه، لكن ماندل أعاده مرة أخرى إليه فتوصل إلى أن العدسة سوف تجعل المشاهد من الأرض يرى الضوء يدور في شكل حلقي؛ للتوضيح تخيل ضوءًا قادمًا من مجرة بعيدة يمر بمجرة قريبة، يمكن لجاذبية المجرة القريبة أن تشطر ذلك الضوء إلى نصفين كل نصف منهما سيدور حول المجرة في اتجاه معاكس للآخر، إلى أن يتجاوزا المجرة تمامًا فحينها سيعودان للاندماج مرة أخرى. الناظر من الأرض سيرى أشعة الضوء هذه تبدو كحلقة من الضوء وهو خداع بصري ينتج بسبب انحناء الضوء حول المجرة القريبة، لكن أينشتاين استنتج أنه «ليس من الراجح إمكانية مشاهدة هذه الظاهرة مباشرة»[٤]، بل إنه كتب: «إن البحث في هذا الأمر ليس بهذه الأهمية لكنه سيجعل ذلك الرجل المسكين

[يقصد ماندل] سعيدًا.»° ومرة أخرى يثبت أينشتاين أنه سابق لعصره فبعد ستين سنة كاملة سوف تُكْتشف تلك الحلقات والعدسات التي أشار إليها وستصير أدوات لا غنى عنها للفلكيين الراغبين في استكشاف الكون.

في منتصف العشرينيات من القرن العشرين كان جل اهتمام أينشتاين منصبًّا على محاولة الخروج بنظرية مجالات موحدة تجمع تحتها جميع القوانين الفيزيائية، لكنه كان في الوقت نفسه يخوض معركة مع الكابوس الذي يؤرقه ليل نهار وهو نظرية الكم، وبرغم النجاح الساحق للنسبية العامة في ذلك الوقت فإنها لم تضمن له الفوز بهذه الحرب.

الجزء الثالث

الصورة التي لم تتم: نظرية المجالات الموحدة

الفصل السابع

التوحيد وتحدي نظرية الكم

لم يكد أينشتاين يتوصل إلى النسبية الخاصة عام ١٩٠٥ حتى فقد اهتمامه بها وانصرف عنها إلى لعبة أكبر هي النسبية العامة، ثم عاد ليكرر الأمر نفسه عام ١٩١٥، فبعد أن أكمل نظريته عن الجاذبية بدأ يحول انتباهه إلى طموح أبعد هو نظرية المجال الموحد التي ستجمع بين نظريته عن الجاذبية ونظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية، وكان يتوقع أن تكون هذه النظرية تتويجًا لإنجازاته وخلاصة لألفي عام من البحث العلمي في طبيعة الضوء والجاذبية، وأن تمكنه من «قراءة أفكار الرب.»

لم يكن أينشتاين أول من افترض وجود علاقة بين الكهرومغناطيسية والجاذبية، فمايكل فاراداي الذي عمل في المعهد الملكي بلندن في القرن التاسع عشر هو أول من أجرى تجارب بهدف استكشاف العلاقة بين هاتين القوتين المؤثرتين. ومن أمثلة التجارب التي أجراها أنه كان يسقط بعض المغناطيسات من فوق جسر لندن كي يرى هل تختلف سرعة سقوطها عن سرعة سقوط الأحجار العادية، فربما يؤدي وجود تأثير متبادل بين المغناطيسية والجاذبية إلى إعاقة المجال المغناطيسي للجاذبية بعض الشيء، مما يؤدي إلى اختلاف سرعة سقوط المغناطيسات. ومن تجاربه أيضًا أنه كان يلقى قطعًا معدنية من سقف حجرة الدراسة لتقع على وسادة موضوعة على الأرض ليرى هل يستحث السقوط تيارًا كهربيًّا في المعدن. ومع أن كل تجاربه تلك جاءت نتائجها سلبية فقد قال: «هذه التجارب لا تزعزع إيماني بوجود علاقة بين الكهرباء والجاذبية، مع أنها لم تعطني دليلًا على ذلك.»[1]
واعتقد رايمان، صاحب نظرية المكان المنحني في أي بعد، أيضًا بأنه يمكن

اختزال الكهرباء والجاذبية في صيغ هندسية خالصة، لكنه لسوء الحظ لم تكن لديه أي صور فيزيائية أو معادلات مجال تؤيد كلامه، ولهذا ذهبت أفكاره أدراج الرياح.

يتضح فكر أينشتاين المتعلق بالتوحيد من خلال تشبيهه للهندسة بـ«الرخام» وللمادة بـ«الخشب»، فالرخام في نظره يصف عالم الهندسة الجميل ذا السطح الناعم الصقيل، إذ إن النجوم والمجرات التي تملأ الكون تتخذ أماكنها وتؤدي أدوارها على أسطح الزمكان المصقولة، أما الخشب فهو تمثيل لعالم المادة الفوضوي الذي تنتشر في أدغاله الجسيمات دون الذرية عشوائيًّا وتحكمها قواعد كمية ليس لها من منطق، وهذا الخشب ينمو عشوائيًّا وبلا توقع كما تنمو شجيرات العنب وتتشابك معًا، فالجسيمات الجديدة التي اكتشفت داخل الذرة جعلت نظرية المادة نظرية غاية في التعقيد. ومن هذه الصورة أدرك أينشتاين الخطأ في المعادلة؛ فالخشب هو الذي يحدد بنية الرخام، أي أن مقدار انحناء الزمكان تحدده كمية الخشب عند أي نقطة.

وهكذا اتضح الإجراء المطلوب في ذهن أينشتاين الذي يتلخص فيما يأتي: «لكي نوجد نظرية مقصورة فقط على الرخام لا بد من استبعاد الخشب من خلال إعادة صياغتها بشكل يقوم فقط على الرخام.» وإذا كان من الممكن بناء الخشب نفسه من الرخام فحينها ستوجد لدينا نظرية هندسية خالصة، فمثلًا الجسيمات المتناهية في الصغر ليس لها امتداد في الفضاء، وفي نظرية المجالات تعتبر تلك الجسيمات فريدة من نوعها، فعندها تصير قوى المجالات غير محدودة. لكن أينشتاين رأى أن يستعيض عن هذه الخاصية الفريدة بتغيير شكل الزمان والمكان؛ تخيل مثلًا حبلًا به انثناء أو عقدة، إذا نظرت له من مسافة بعيدة سوف تبدو لك العقدة كالجسيم المنفصل لكنك إذا اقتربت منها لن تجدها إلا عقدة في حبل. وبالمثل أراد أينشتاين أن يوجد نظرية هندسية خالصة دون أي خصائص غريبة مطلقًا، مثل الجسيمات دون الذرية كالإلكترونات التي ستبدو كعقد على سطح الزمكان. لكن المشكلة الأساسية التي واجهت أينشتاين هي أنه لم يكن يملك مبدأ تماثل محكمًا يمكن أن يوحد الجاذبية مع الكهرومغناطيسية،

وكما ذكرنا من قبل كان السبيل الوحيد أمام أينشتاين لإثبات نظريته هو تحقيق التوحيد من خلال التماثل. وكما رأينا فهو لم يتوصل إلى النسبية الخاصة إلا من تخيله لنفسه يعدو بجوار شعاع الضوء، وهي الصورة التي كشفت عن التعارض القائم بين قوانين نيوتن ونظرية المجالات لماكسويل، ومن خلالها أيضًا توصل إلى مبدأ ثبات سرعة الضوء واستطاع أن يوجد مبدأ تماثل وحد بين الزمان والمكان تمثل في تحويلات لورنتز.

وكذلك عندما اهتدى للنسبية العامة كان هذا من خلال صورة تخيل فيها أن ما يسبب الجاذبية هو انحناء الزمان والمكان، ولقد وضحت هذه الصورة كذلك التعارض الكبير بين نظرية نيوتن (التي فيها تنتقل الجاذبية انتقالًا فوريًّا) ونظرية النسبية (التي تنص على استحالة أن يسبق أي شيء سرعة الضوء). ومن هذه الصورة استنبط مبدأ التكافؤ الذي ينص على أن التسارع والتجاذب يخضعان لذات القوانين الفيزيائية، وأخيرًا استطاع صياغة مبدأ تماثل عامًّا صالحًا لوصف التسارع والتجاذب معًا وهو المتغير المشارك العام.

وجد أينشتاين نفسه أمام معضلة كبيرة سببها أن أفكاره تلك كانت تسبق زمنه بخمسين سنة على الأقل؛ ففي عشرينيات القرن العشرين حين بدأ العمل على نظرية المجالات الموحدة لم تكن هناك قوى معروفة في ذلك الوقت سوى قوتي الجاذبية والكهرومغناطيسية، وكان إرنست راذرفورد قد اكتشف لتوه نواة الذرة عام ١٩١١ لكن القوة التي تثبتها ظلت لغزًا محيرًا في ذلك الوقت، ولهذا فقد كان ينقص أينشتاين جزء مهم من تلك الأحجية لأنه لم يكن يعلم أي شيء عن القوى النووية، ومما زاد الأمر سوءًا أنه لم تكن هناك تجارب قد أجريت وأثبتت تعارضًا بين الجاذبية والكهرومغناطيسية يمكن أن يتمسك بها.

لكن العالم الرياضي هرمان ويل الذي ألهمه سعي أينشتاين لإيجاد نظرية مجالات موحدة قام بأولى المحاولات الجادة في هذا المجال عام ١٩١٨، في أول الأمر أعجب أينشتاين بهذه التجربة وقال عنها: «إنها تشبه سيمفونية بديعة»[٢]، وكان ويل قد وسّع نطاق نظرية أينشتاين القديمة المتعلقة بالجاذبية عن طريق إضافة مجالات ماكسويل مباشرة إلى معادلاتها،

ثم حاول جعل المعادلات متغيرات مشاركة تحت مبادئ تماثل تفوق المبادئ التي استخدمها أينشتاين نفسه بما فيها تحويلات النطاق (وهي التحويلات التي تزيد جميع المسافات أو تنقصها). لكن أينشتاين بعد إمعان وجد في هذه النظرية الجديدة بعض الخلل، ومنها على سبيل المثال أن المرء إذا تحرك في مسار دائري وعاد إلى نفس نقطة انطلاقه سيجد نفسه قد قصر لكن هيئته ظلت كما هي، بعبارة أخرى تعني هذه النظرية أن الأطوال قد تتغير. (تتغير الأطوال أيضًا في نظرية أينشتاين لكنها لا تتغير إذا عاد المرء إلى نقطة انطلاقه نفسها.) إلى جانب أن الزمن سينزاح في مسار مغلق، لكن هذا يعارض فهمنا لطبيعة العالم الفيزيائي، على سبيل المثال إذا تحركت ذرات متذبذبة في مسار دائري كامل فسوف يتغير تردد ذبذبتها عندما تعود إلى نقطة انطلاقها، ولهذا فقد بطلت نظرية ويل برغم فكرتها المبتكرة لأنها لم تتوافق مع الحقائق المنطقية (أدرك العلماء بعد زمن أن التماثل في نظرية ويل كان يفوق الحد المعقول، فالطبيعة لا تتبنى مبدأ ثبات النطاق مع الكون الذي نراه حولنا.)

وعام ١٩٢٣ انتقل الاهتمام بتلك الفكرة إلى آرثر إدنجتون بعد أن ألهمته أبحاث ويل فقام (وبعده علماء كثيرون) بمحاولة التوصل إلى نظرية مجالات موحدة، وكما فعل أينشتاين اعتمد إدنجتون على انحناء ريتشي لكنه لم يدرج مفهوم المسافة في معادلاته، أي أنه كان من المستحيل تعريف وحدات الطول (الأمتار) ووحدات الزمن (الثواني) في نظريته لأن نظريته كانت تعتبر مقدمة لنظرية هندسية حيث لا يظهر مفهوم المسافة إلا في آخر خطوة في النظرية كناتج لمعادلاتها. لكن تلك النظرية لم ترق أبدًا للعالم الفيزيائي فولفجانج باولي الذي قال عنها إنها «لا تمت للفيزياء بصلة.»[٣] ورفضها أينشتاين لأنه رآها فارغة من أي مضمون فيزيائي.

غير أن البحث الذي أثار شديد اهتمام أينشتاين هو بحث اطلع عليه عام ١٩٢١ لعالم رياضي مغمور يدعى ثيودور كالوزا يعمل في جامعة كونيجسبيرج، اقترح كالوزا أن يضيف أينشتاين بعدًا خامسًا إلى معادلته رباعية الأبعاد بعد أن أعاد صياغة النسبية العامة من خلال خمسة أبعاد (أربعة منها للمكان وواحد للزمان)، ولم تكن هذه بالمهمة العسيرة لأن

معادلات أينشتاين قابلة لأن تتوافق مع أي بعد كان، ثم شرح كالوزا فكرته في أسطر قليلة تتلخص في أنه إذا كان البعد الخامس منفصلًا عن الأربعة الأخرى فإن معادلات أينشتاين حينها ستتوافق مع معادلات ماكسويل، أي أن تلك المعادلات التفاضلية الجزئية الثمانية المعقدة التي يحفظها أي مهندس أو فيزيائي عن ظهر قلب يمكن أن تلخص في شكل موجات تتحرك في البعد الخامس، بعبارة أخرى نقول إن معادلات ماكسويل يمكن أن تكون جزءًا من النسبية إذا زادت أبعاد النسبية إلى خمسة أبعاد.

انبهر أينشتاين ببحث كالوزا الذي تميز بالجرأة والإتقان في ذات الوقت فكتب له رسالة جاء فيها: «إن فكرة تحقيق التوحيد عن طريق افتراض كون العالم خماسي البعد لم تخطر لي ببال مطلقًا ... وإنني أحببت فكرتك تلك منذ النظرة الأولى.»[٤] ثم عاد بعد أن قضى عدة أسابيع يدرس تلك النظرية فكتب إليه مرة أخرى: «إن ما تتميز به نظريتك من وحدة شكلية لهو أمر مذهل.»[٥] وعام ١٩٢٦ وضع العالم الرياضي أوسكار كلاين تنظيرًا لأبحاث كالوزا وخلص منه إلى أن البعد الخامس غير قابل للملاحظة لأنه صغير جدًّا ويرتبط على الأرجح بنظرية الكم، كان كلاين وكالوزا ينظران إلى التوحيد نظرة مختلفة فقد اعتقدا أن الكهرومغناطيسية ما هي إلا ذبذبات تتموج في أرجاء سطح ذلك البعد الخامس الصغير.

للتوضيح نضرب مثلًا بأسماك تعيش في بركة ضحلة وتسبح تحت بعض أوراق زنبق الماء الأبيض، يمكن أن تعتقد هذه الأسماك أنها تعيش في كون ثنائي البعد؛ فهي قادرة على التحرك يمينًا ويسارًا وإلى الأمام وإلى الخلف، لكنها لا تعرف البعد الثالث ولا تعرف فكرة التحرك إلى الأعلى، والآن كيف لهذه الأسماك أن تدرك وجود البعد الثالث إذا كانت لا تعرف إلا بعدين فقط؟ تخيل أن السماء أمطرت ذات يوم فوق سطح البركة، حينها سوف تنتج تموجات ثلاثية البعد وتتحرك على طول سطح البركة، حين ترى الأسماك تلك التموجات ستظن أن هناك قوى خفية قادرة على أن تضيء ذلك الكون الذي تعيش فيه. إذا طبقنا هذه الصورة على حالنا فسنجد أننا الأسماك لأننا نعيش حياتنا في ثلاثة أبعاد مكانية غير عالمين بأن هناك أبعادًا عليا في الكون لا تدركها حواسنا، والشيء الوحيد الذي قد

يصل بيننا وبين ذلك البعد الخامس الخفي هو الضوء الذي صرنا نراه الآن موجات تنتشر في سطح البعد الخامس.

كان السبب في نجاح نظرية كالوزا-كلاين أنها تقوم على توحيد الكهرومغناطيسية مع الجاذبية من خلال مبدأ تماثل جديد هو متغير مشارك خماسي البعد، ولعلنا لا ننسى أن التوحيد من خلال التماثل هو الاستراتيجية التي اتبعها أينشتاين وقادته للنظرية النسبية. لكن برغم ما لاقته هذه النظرية من قبول ظل هناك سؤال ملح يطرح نفسه وهو: أين هذا البعد الخامس؟ فلم يحدث حتى يومنا هذا أن أجريت تجربة وأثبتت وجود أبعاد مكانية عليا غير الطول والعرض والارتفاع، وإذا كانت مثل هذه الأبعاد موجودة بالفعل فلا بد أنها متناهية في الصغر ولا يتعدى حجمها حجم الذرة. إذا أطلقنا غاز الكلور في حجرة ما فسنجد ذرات هذا الغاز تخترق زوايا الحجرة وشقوقها تدريجيًّا دون أن تختفي في أي أبعاد غامضة أخرى، وهو ما يعني أن أي أبعاد خفية موجودة لا بد أن تكون أصغر من الذرة، لكن حتى إذا كان ذلك البعد أصغر من الذرة فلا بد أن يكون قابلًا لأن يقاس معمليًّا، لكن لم تستطع أي تجربة معملية رصده، ولهذا فقد افترض كالوزا ومعه كلاين أن هذا البعد يتخذ شكل كرة صغيرة هي أدق من أن تلاحظ بالسبل التجريبية.

إلا أن أينشتاين بعد حين بدأت تساوره الشكوك في هذه النظرية وتراوده أفكار مزعجة تجعله يسأل نفسه عما إذا كان من الممكن ألا يكون هناك بعد خامس من الأساس وأن يكون مجرد وهم أو خيال رياضي، هذا بخلاف أن هذه النظرية لم تتعرض لأي جسيمات أدنى من الذرة وهو ما كان يضايقه كثيرًا. كان هدفه هو أن يشتق الإلكترونات من معادلات مجالات الجاذبية التي وضعها لكنه لم يحقق هذا الهدف. (الواقع أن الفيزيائيين قد فوتوا على أنفسهم فرصة عظيمة في ذلك الوقت لأنهم لم يأخذوا نظرية كالوزا-كلاين على محمل الجد، فقد كان باستطاعتهم إضافة أبعاد أخرى إلى ذلك البعد الخامس نفسه، فكلما زدنا من عدد الأبعاد زاد عدد مجالات ماكسويل وصولًا إلى ما يسمى بـ«مجالات يانج ميلز». كان كلاين قد اكتشف مجالات يانج ميلز هذه في نهاية ثلاثينيات القرن العشرين لكن أصداء هذا

الاكتشاف تلاشت في معمعة الحرب العالمية الثانية، ولم يُعَد اكتشافها إلا في منتصف الخمسينيات، ومجالات يانج ميلز هي التي تشكل اليوم الأساس الذي تقوم عليه القوة النووية، وعليها تقوم معظم النظريات الفيزيائية المتعلقة بالجسيمات دون الذرية، وبعد عشرين عامًا أخرى تم إحياء تلك النظرية من جديد في صورة نظرية الأوتار التي تعد اليوم مرشحة لتكون النظرية الموحدة للمجالات.)

لم يشأ أينشتاين أن يخاطر باعتبار نظرية كالوزا-كلاين صحيحة، ولهذا فقد رأى أن يدخل إلى نظرية المجالات الموحدة من مدخل مختلف، مدخله هذه المرة هو استكشاف نظريات هندسية تتعدى نظريات رايمان، وعندما استشار كثيرًا من علماء الرياضيات في هذا الأمر وجد هذا المجال مفتوحًا على مصراعيه، بل إن أينشتاين نفسه تسبب في إقبال كثير من الرياضيين على محاولة إيجاد نظرية هندسية تقوم على مبدأ التواصل لكي تساعده على استكشاف أكوان جديدة، وكان من نتاج هذا أن وضعت نظريات هندسية جديدة تتضمن مفاهيم مثل «الانثناء» أو «الفضاءات المنحنية»، (لكن هذه المفاهيم المجردة لن يكون لها أي تطبيق فيزيائي قبل سبعين سنة أخرى حين توضع نظرية الأوتار الفائقة.)

عاش أينشتاين كابوسًا حقيقيًا خلال بحثه عن النظريات الهندسية التي ينشدها فلم يكن لديه أي مبدأ فيزيائي يرشده إلى الطريق الصحيح خلال تلك المعادلات النظرية المعقدة، ففي السابق استطاع الاهتداء بمبدأي التكافؤ والمتغير المشارك العام، لكن كليهما يرتبط ارتباطًا شديدًا بالحقائق القائمة على التجريب، وقبل هذا كان يستخدم الصور الفيزيائية كما حدث مع النسبية، لكنه هذه المرة لم يجد مبدءًا مرشدًا أو صورة فيزيائية تساعده في التوصل لنظرية المجالات الموحدة.

كان العالم كله يترقب بشغف نتائج آخر أبحاث أينشتاين حتى إنه حينما قدم تقريرًا عن المرحلة التي وصل إليها في النظرية الجديدة إلى الأكاديمية البروسية تمكنت صحيفة نيويورك تايمز من الحصول على نسخة منه ونشرت أجزاء من البحث على صفحاتها، وعلى الفور تحلق مئات من المراسلين الصحفيين حول منزل أينشتاين راغبين في الظفر بكلمة منه، بل

إن إدنجتون كتب له خطابًا يقول له فيه: «لعلك ستسر عندما تعرف أن أحد أكبر المجمعات التجارية في لندن (سيلفريدجز) علّق بحثك على زجاج نافذته الخارجية (تم إلصاق الصفحات الست الواحدة بجانب الأخرى) كي يراه المارة، والمدهش أن جماهير غفيرة تجمعت حول هذه النافذة كي تقرأه.»[٦] لكن أينشتاين لم يكن يلقي بالًا لهذا الهياج الإعلامي بل إنه كان مستعدًّا لأن يتخلى عن شهرته وما يلقاه من مديح في مقابل أن يطلعه أحد على صورة فيزيائية ترشده إلى الطريق الصحيح.

وبمرور الوقت بدأ بعض الفيزيائيين الآخرين يدركون أن أينشتاين يمشي في الطريق الخطأ وأن غريزته الفيزيائية قد خذلته هذه المرة، وكان من بين من انتقدوه صديقه وزميله فولفجانج باولي أحد الرواد الأوائل لنظرية الكم الذي اشتهر في الأوساط العلمية بكونه لاذعًا في نقده، حتى روي عنه أنه قال لأحد زملائه بعد أن اطلع على بحث معيب قدمه هذا الزميل: «إنه لا يرقى حتى لأن يوصف بالخطأ.»[٧] «إنني لا أعترض على بطء تفكيرك، بل أعترض على كونك تنشر أبحاثك بسرعة أكبر من سرعة تفكيرك.»[٨] وفي مرة أخرى قال لأحد المحاضرين بعد أن انتهى من تقديم سيمنار اتسم بالتخبط وعدم الاتساق: «إن ما قلته شديد الإرباك حتى إنني لا أعرف إن كان هراء أم لا.»[٩] وعندما اشتكى زملاء باولي من قسوة نقده رد عليهم قائلًا: «إن بعض الناس يعانون دمامل شديدة الحساسية في أقدامهم ولا سبيل أمامهم للتعايش مع تلك الدمامل إلا بأن يواصلوا الضغط عليها حتى يعتادوها.»[١٠] أما عن رأيه في نظرية المجالات الموحدة فقد عبر عنه بتعليقه الشهير: «إن ما فرقه الرب لا يجمعه إنسان.» (لكن المفارقة أن باولي نفسه وضع في وقت لاحق تصورًا خاصًّا لنظرية المجالات الموحدة.)

لقيت آراء باولي تأييدًا من كثير من زملائه الفيزيائيين الذين هم من أنصار نظرية الكم التي تعتبر مع نظرية النسبية أعظم نظريتين في القرن العشرين، وتعتبر أكثر النظريات الفيزيائية نجاحًا على مر الأزمنة؛ فهي التي كشفت خبايا عالم الذرة الغامض وقدمت إلى العالم طاقة الليزر والأجهزة الإلكترونية الحديثة والحاسبات الآلية وتكنولوجيا النانو، لكن العجيب أن تلك النظرية تقوم على أساس غير ثابت وهو عالم الذرة الذي فيه توجد

الإلكترونات في مكانين مختلفين في ذات الوقت وتتوارى في مكان خفي يقع بين الوجود والعدم، حتى إن أينشتاين علق عام ١٩١٢ على هذه النظرية قائلًا: «كلما زاد نجاح نظرية الكم ازدادت لا منطقية.»[١١]

وتعرف أينشتاين عام ١٩٢٤ على بعض أغرب خصائص نظرية الكم من خطاب تلقاه من فيزيائي هندي مغمور يدعى ساتيندرا ناث بوس وهو صاحب بحث في الفيزياء الإحصائية كان من الغرابة بمكان أن رُفض نشره؛ اقترح بوس في بحثه توسيع نطاق نظرية أينشتاين القديمة عن الميكانيكا الإحصائية محاولًا التوصل إلى طريقة لمعاملة الغازات بشكل يقوم على ميكانيكا الكم باعتبار الذرات كيانات كمية. وبذات الطريقة التي استخدمها أينشتاين لمد نطاق نظرية بلانك إلى الضوء، رأى بوس أنه يمكن مد نطاق نظرية أينشتاين للتوصل إلى نظرية كمية خالصة لذرات الغازات. رأى أينشتاين، وهو الخبير في هذا المضمار، أنه برغم أن بوس قد وقع في بعض الأخطاء كأن وضع افتراضات غير مسوغة، فإن النتيجة النهائية لفكرته بدت صحيحة، ولقد أثارت هذه الدراسة شديد اهتمام أينشتاين لدرجة أنه ترجمها إلى الألمانية وطلب نشرها.

ثم وسّع أينشتاين نطاق دراسة بوس في بحث خاص به مطبقًا نتائجه على مادة ذات درجة حرارة منخفضة جدًّا تقترب من الصفر المطلق، اكتشف بوس وأينشتاين حقيقة مهمة جدًّا تتعلق بنظرية الكم وهي أن الذرات لا تتميز بعضها عن بعض كما اعتقد بولتزمان وماكسويل من قبل، أي أنه على خلاف الأحجار والأشجار وباقي الكيانات المادية التي لها أسماء متمايزة فإن ذرات الهيدروجين تبدو متطابقة خلال التجارب، فليست هناك ذرات خضراء وأخرى زرقاء أو صفراء. لكن أينشتاين وجد أنه إذا بُرِّدَت مجموعة من الذرات حتى درجة تدنو من الصفر المطلق — وفي هذه الدرجة تبطؤ جميع الحركات الذرية حتى تكاد تتوقف — فإن جميع الذرات سوف تهوي إلى أكثر حالات الطاقة انخفاضًا مكونة «ذرة فائقة» واحدة، لأن تلك الذرات تتكثف وتتجمع في حالة كمية واحدة وتصير ذرة واحدة فائقة. طرح أينشتاين حالة جديدة للمادة لم تعرف من قبل، لكن المشكلة كانت في أنه لكي تصير الذرات في أدنى درجات الطاقة لا بد أن

تنخفض درجة الحرارة انخفاضًا شديدًا يصل إلى جزء من مليون جزء يقترب من الصفر المطلق، وهي درجة حرارة لا يمكن ملاحظتها تجريبيًّا. (تحت درجة الحرارة المنخفضة تلك تتذبذب الذرات وهي شديدة التقارب من بعضها، ومن ثم تبدأ تأثيرات الثبات الكمي التي لا ترى إلا في الذرات المفردة في الانتشار في جميع أرجاء المكثف، هذا الأمر أشبه بما تفعله الجماهير في مباريات كرة القدم حينما يقومون بعمل موجات بشرية تنتقل عبر المدرجات بينما يقفون ويجلسون بشكل متناغم، فالذرات في «مكثف بوس-أينشتاين» تتذبذب كذلك بشكل متناغم في مكانها.) لكن مع هذا فَقَدَ أينشتاين الأمل في أن يستطيع رصد مكثف بوس-أينشتاين معمليًّا خلال حياته لأن التكنولوجيا في عشرينيات القرن العشرين لم تكن تسمح بإجراء تجارب تحت درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق. (كان أينشتاين سابقًا لعصره بزمن طويل حتى إن النظريات التي وضعها لم تصبح قابلة للاختبار إلا بعد نحو سبعين عامًا.)

الأمر الثاني الذي كان يشغل أينشتاين في ذلك الوقت هو رغبته في معرفة هل مبدأ الازدواجية قابل لأن يطبق على المادة كما هو على الضوء؛ ففي محاضرة ألقاها عام ١٩٠٩ ذكر أينشتاين أن للضوء طبيعة مزدوجة، فقد تكون له خصائص الجسيمات وخصائص الموجات في ذات الوقت، وهي فكرة برغم غرابتها كانت تؤيدها نتائج معملية، ألهمت هذه الفكرة أحد طلبة الدراسات العليا الشباب ويدعى برينس لوي دي بروي الذي خرج عام ١٩٢٣ بنتيجة مفادها أن المادة كذلك لها ذات الخصائص المزدوجة، اعتبرت هذه جرأة غير مسبوقة من هذا الشاب لأنه حتى ذلك الوقت كان الاعتقاد المتأصل في فكر العلماء أن المادة لا تتكون إلا من جسيمات، لكن برولي استطاع بإلهام من أبحاث أينشتاين أن يحل بعض الألغاز المتعلقة بالذرة من خلال افتراض تمتعها بخصائص الموجات.

أعجب أينشتاين بجرأة نظرية دي بروي «موجات المادة» وأيدها (فيما بعد نال دي بروي جائزة نوبل عن هذه الفكرة المبتكرة). لكن بقي هناك سؤال معلق وهو: إذا كان للمادة خصائص الموجات فما هي المعادلة التي تخضع لها هذه الموجات؟ منذ زمن بعيد اهتم الفيزيائيون كثيرًا بالموجات

وتكونت لديهم خبرة كبيرة بها فصاغوا معادلات لموجات الماء والموجات الصوتية، ولهذا فقد تحمس الفيزيائي النمساوي إرفن شرودنجر لهذه الفكرة وصاغ معادلة لموجات المادة. في ذلك الوقت كان شرودنجر يقضي عطلة عيد ميلاد عام ١٩٢٥ مع واحدة من عشيقاته اللاتي لا حصر لهن، فقد كان مشهورًا بأنه زير نساء كبير، في فيلا هرفيج بمقاطعة أروسا، لكنه استطاع أن يقتطع من وقته مع تلك العشيقة ليصوغ معادلة صارت فيما بعد أهم معادلات فيزياء الكم وعرفت باسم معادلة الموجات لشرودنجر. كتب والتر مور مؤرخ شرودنجر يقول: «كما أن أحدًا لا يعرف من هي تلك السيدة السمراء التي ألهمت شكسبير قصائده فكذلك لا يعرف أحد أي شيء عن سيدة أروسا.»[١٢] (لسوء الحظ لم يستطع أحد أن يعرف من هي تلك السيدة التي ألهمت شرودنجر المعادلة لأنه كان له الكثير من الصديقات والعشيقات والأبناء غير الشرعيين.) وعلى مدى أشهر عديدة نشر شرودنجر سلسلة من الأبحاث المهمة أثبت فيها أن القواعد الغامضة التي تخضع لها ذرات الهيدروجين والتي اكتشفها نيلز بور ما هي إلا نتيجة طبيعية لهذه المعادلة. وهكذا استطاع الفيزيائيون لأول مرة أن يخرجوا بصورة مفصلة عن جوف ذرة الأكسجين ومن خلالها استطاعوا التعرف على خصائص ذرات أكثر تعقيدًا بل حتى الجزيئات. وفي ظرف أشهر قليلة استطاعت تلك النظرية الكمية الجديدة أن تجيب على أعقد الأسئلة المتعلقة بالطبيعة الذرية وأن تحل ألغازًا علمية كثيرة طالما حيرت العلماء منذ عهد الإغريق، وصار من الممكن حساب حركة الإلكترونات وانتقالها بين المسارات مطلقة دفقات من الطاقة أو رابطة بين الجزيئات عن طريق معادلات تفاضلية جزئية، بل إن أحد الفيزيائيين الشباب المتحمسين ويدعى بول أدريان موريس ديراك أخذ يتباهى بهذه المعادلات قائلًا إن جميع قواعد الكيمياء يمكن أن تفسر من خلال معادلة شرودنجر خالطًا بين الكيمياء والفيزياء التطبيقية.

وهكذا صار أينشتاين، الذي يعتبر أبا نظرية الكم الأولى الخاصة بالفوتون، أبًا روحيًا لنظرية الكم الجديدة التي تقوم على موجات شرودنجر. (واليوم حين يحفظ طلبة الكيمياء في المدارس الثانوية المدارات ذات الشكل المضحك التي تشبه كرة القدم الأمريكية والمحيطة بنواة الذرة بأسمائها

الغريبة وأرقامها الكمية فإنهم في الواقع يحفظون نتائج معادلة شرودنجر الموجية.) شهدت تلك الفترة تقدمًا كبيرًا ومتسارعًا في فيزياء الكم، كان من تبعاته أن استخدم ديراك معادلة شرودنجر في وضع نظرية للإلكترونات تقوم على النسبية بعد أن رأى أن شرودنجر نفسه لم يدمج النسبية في تلك المعادلة، ومرة أخرى أصيب الفيزيائيون بالذهول الشديد؛ كانت معادلة شرودنجر الأصلية التي حظيت بقبول واسع من أهل الفيزياء تنطبق فقط على الإلكترونات التي تتحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء وهو ما يخرجها من نطاق نظرية النسبية، أما معادلة ديراك الجديدة فقد كانت تخضع كلية لمبدأ أينشتاين التماثلي، وعلاوة على هذا استطاعت معادلة ديراك أن تفسر تلقائيًّا بعض خصائص الإلكترونات الغريبة ومنها خاصية غريبة تسمى «الدوران»، ظهرت هذه الخاصية لأول مرة في التجارب التي أجراها أوتو شتيرن وفالتر جيرلاك ولاحظا فيها أن الإلكترونات حين تكون في داخل مجال مغناطيسي تأخذ في الدوران كالنحلة بكمية تحرك زاويّ يقدر بـ ١ / ٢ (بوحدات ثابت بلانك)، وهو نفس قدر الزخم الذي قدرته معادلة ديراك. (قدرت نظرية المجالات لماكسويل زخم التفاف الفوتون بـ ١، وقدر أينشتاين زخم التفاف موجات الجاذبية بـ ٢، ومن خلال أبحاث ديراك ظهر واضحًا أن الالتفاف هو واحد من أهم خصائص الجسيمات دون الذرية.)

لم يتوقف ديراك عند هذا بل اكتشف من دراسة لطاقة الإلكترونات أن أينشتاين قد غفل عن أحد حلول معادلاته؛ عادة حينما نأخذ الجذر التربيعي لعدد ما نعرض الحلين الموجب والسالب معًا، فالجذر التربيعي للعدد ٤ يمكن أن يكون +٢ أو −٢، ولأن أينشتاين أهمل أحد الجذور التربيعية لمعادلته الشهيرة $E = mc^2$ فإنها لم تكن صحيحة تمامًا، والأصح أنها $E = \pm mc^2$، قال ديراك إن علامة السالب الإضافية تلك تشير إلى إمكانية وجود أكوان موازية أخرى توجد فيها الجسيمات في صورة «مادة مضادة»[١٢].

(الغريب أن أينشتاين نفسه كان قد طرح ذات الفكرة عام ١٩٢٥ سابقًا ديراك بأعوام قليلة موضحًا أنه بعكس علامة شحنة الإلكترون في

المعادلة النسبية يمكن أن نخرج بمعادلات مطابقة إذا عكسنا اتجاه المكان كذلك، وقال أيضًا إنه لكل جسيم ذي كتلة معينة جسيم نظير له بذات الكتلة ولكن بشحنة ذات اتجاه معاكس، ومعنى هذا أن النسبية لم تكتفِ بتقديم بعد رابع بل قدمت لنا أيضًا عالمًا موازيًا قوامه مادة مضادة، لكن أينشتاين لم يكن ممن يدخلون في نزاعات على أسبقية الاكتشاف ففضل بكل نبل ألا يدخل في صراع مع ديراك.)

في البداية قوبلت أفكار ديراك بالكثير من التشكك لأنها بدت في منتهى الغرابة، حتى إن فيرنر هايزنبرج العالم المختص بفيزياء الكم (وهو الذي توصل مع نيلز بور إلى صيغة مختلفة لنظرية الكم لها نفس نتائج صيغة شرودنجر) كتب يقول: «إن نظرية ديراك كانت وسوف تظل أسوأ مراحل الفيزياء الحديثة ... وإنني أظنها ... هراء لا يؤخذ على محمل الجد.»[١٤] لكن أولئك الذين عارضوا نظرية ديراك اضطروا بعدها لأن يطأطئوا الرأس خجلًا عندما اكتشف وجود الإلكترون المضاد أو البوزيترون عام ١٩٣٢ وهو الاكتشاف الذي نال عنه ديراك جائزة نوبل، وحينها رجع هايزنبرج عن كلامه وقال: «إنني أظن اكتشاف المادة المضادة هو أكبر قفزة علمية في هذا القرن.»[١٥] ومرة أخرى تخرج علينا النسبية بنتائج غير متوقعة وهذه المرة أوجدت لنا كونًا جديدًا بالكامل يتكون من مادة مضادة.

(من الغرائب أن شرودنجر وديراك اللذين اكتشفا أهم الخاصيتين الموجبتين في نظرية الكم كان أحدهما على النقيض من الآخر؛ فشرودنجر متعدد العلاقات النسائية، أما ديراك فقد عُرِف بخجله الشديد أمام النساء وميله للصمت. وكان الوسط العلمي في بريطانيا شديد التقدير لإسهامات ديراك في مجال الفيزياء حتى إنه بعد موته نُحِتَت معادلته النسبية على حجر ووضع في كنيسة ويستمنستر بالقرب من قبر نيوتن.)

وفي غضون وقت قليل صار الفيزيائيون من جميع بقاع الأرض يتهافتون على تعلم خصائص معادلات شرودنجر وديراك الجميلة والغريبة في الوقت نفسه، لكن برغم النجاح الكاسح الذي حققته فيزياء الكم فقد ظل العلماء يصارعون سؤالًا فلسفيًّا حيرهم طويلًا وهو: إذا كانت المادة موجات فما الذي يتموج بالضبط؟ كان هذا هو ذات السؤال الذي برز من

نظرية موجات الضوء والذي تمخضت عنه نظرية الأثير الخاطئة. تشبه موجات شرودنجر أمواج المحيط في أنها بعد فترة معينة تتفرق في أرجاء الكون من تلقاء نفسها حتى تختفي كما تختفي أمواج البحر، لكن هذا كان يخالف معلومات العلماء عن الإلكترونات، فمعلوماتهم تنص على أن الجسيمات دون الذرية هي كيانات دقيقة تتحرك بسرعة كبيرة في حركات محددة يمكن تصويرها، وهكذا فمع النجاح الساحق الذي حققته موجات شرودنجر في وصف ذرات الهيدروجين فإنها لم تستطع وصف حركة الإلكترون في الفضاء الحر، بل إنه لو طُبِّقت حركة هذه الموجات على حركة الإلكترون فسوف نخرج بنتيجة مفادها أن الإلكترونات سوف تتبدد في الفضاء ببطء وهو ما يعني أن الكون سوف يتلاشى.

أيقن الجميع أن في ذلك الأمر خطأ فادحًا لكن لم يعرف أحد ما هو، إلى أن حَلَّ ماكس بورن صديق عمر أينشتاين هذا اللغز؛ عام ١٩٢٦ صرح بورن بحسم بأن موجات شرودنجر لا تصف الإلكترون بل تصف «احتمالية» وجوده وقال أيضًا: «إن حركة الجسيمات تخضع لقوانين الاحتمالات، لكن الاحتمالات نفسها لا بد أن تتناغم مع قوانين السببية.»[١٦] يُفهم من هذا أن هذه الصورة الجديدة تؤكد على أن المادة توجد في شكل جسيمات لا موجات، والعلامات التي تظهر على الألواح الفوتوغرافية ما هي إلا المسارات التي تخلفها الجسيمات الدقيقة لا الموجات، ووظيفة الموجات هي الإشارة إلى النقاط التي يحتمل أن توجد فيها الجسيمات. (يمكننا أن نقول بعبارة أكثر تحديدًا إن التربيع المطلق لموجات شرودنجر يمثل احتمالية وجود الجسيمات في نقطة محددة من الزمان والمكان.) وهذا يعني أن حقيقة كون الموجات تتفرق حتى تختفي بمرور الزمن لا تتعارض مع أي شيء، فهي تعني أن الإلكترونات لا تتلاشى بل تتنقل وتتحرك من مكانها لكن يمكن تحديد المكان الذي كانت فيه بكل دقة، وبهذا زالت كل التناقضات التي كانت تشكك في النظرية.

غير أن فيرنر هايزنبرج لم يتوقف عند هذا الحد فقد كان منشغلًا هو وزميله بور بقضية توقف تلك النظرية الجديدة على الاحتمالات حتى إنه كثيرًا ما انخرط في جدال محتدم مع زميله الأكبر منه سنًّا حول هذا

الموضوع. وفي إحدى الليالي التي قضاها يقلب هذه المسألة في رأسه دون جدوى خرج يتمشى وهو محبط في أرجاء حي فايليد الذي يقع خلف الجامعة وسؤال واحد يلح على ذهنه: كيف يتأتى ألا يكون بمقدورنا تحديد موقع الإلكترون بدقة مع أننا نستطيع قياسه ببساطة؟

وفجأة لمع الحل في ذهنه واضحًا، فلكي نحدد موقع الإلكترون علينا أن نراه، ولكي نراه يجب أن نسلط عليه شعاع ضوء ساطع، لكن المشكلة أن فوتونات الشعاع الضوئي سوف تصطدم مع الإلكترونات فلا تسمح لنا بتحديد الموقع بدقة، أي أن الإجراء المطلوب لمشاهدة الإلكترون هو ذاته الذي يسبب تضليلنا عنه، ولهذا فقد أعاد هايزنبرج صياغة هذا السؤال في إطار مبدأ فيزيائي جديد هو مبدأ عدم اليقين الذي ينص على أنه «لا يمكن تحديد موقع الجسيم وسرعته في ذات الوقت.» (وبعبارة أكثر تحديدًا نقول إن نسبة عدم اليقين في موقع الإلكترون وكمية الحركة يجب أن تساوي أو تزيد عن مقدار ثابت بلانك مقسومًا على ٤ط.) ولم يكن عدم اليقين هذا مرده فقط إلى محدودية إمكانيات الأدوات المعملية بل لكونه من القوانين الأساسية للطبيعة، فلا يستطيع كائن على وجه الأرض تحديد موقع الإلكترون وكمية الحركة في ذات الوقت.

كانت هذه لحظة فارقة في تاريخ نظرية الكم؛ ففيها تعمقت لأول مرة في مجالات لم تكن مطروقة من قبل، وحتى تلك اللحظة كان العلماء يظنون أن الظواهر الكمية هي ظواهر إحصائية تمثل متوسط حركات تريليونات الإلكترونات، لكنهم أدركوا بعدها أنه لا يمكن تحديد حركة حتى إلكترون واحد بصورة مؤكدة، وكان من شأن هذه النتائج الجديدة أن أثارت ارتياع أينشتاين خاصة بعد أن علم أن صديقه الوفي ماكس بورن هجر مبدأ الحتمية الذي هو واحد من أهم مبادئ الفيزياء التقليدية، ومبدأ الحتمية ينص على أن المرء قادر على أن يعرف المستقبل إذا عرف كل شيء عن الحاضر، ومثالًا على هذا قدرة قوانين نيوتن الطبيعية على التنبؤ بحركة المذنبات والأقمار والكواكب بعد معرفتها بحالة النظام الشمسي الراهنة. ولقرون عديدة كان الفيزيائيون يتعجبون من قدرة تلك القوانين، نظريًّا، على التنبؤ بمنتهى الدقة بالمواقع التي ستنتهي إليها الأجرام السماوية بعد

ملايين السنين، والواقع أنه حتى تلك اللحظة كانت العلوم كلها تقوم على مبدأ الحتمية، وكان العلماء قادرين على التنبؤ بنتيجة التجربة إذا عرفوا موقع جميع الجسيمات وسرعاتها، ولخص أتباع نيوتن هذا المبدأ في تشبيه الكون بساعة عملاقة أدار الرب زنبركها في بداية الخليقة فاستمرت تدق حتى وقتنا هذا سائرة على قوانين نيوتن للحركة. وإذا عرفنا موقع كل ذرة من ذرات الكون وسرعتها فسنستطيع بواسطة قوانين نيوتن أن نحسب ما سيطرأ على الكون من تطورات لاحقة بدقة متناهية، لكن مبدأ عدم اليقين أتى فأبطل هذا كله ورأى أنه من المستحيل التنبؤ بالحالة التي سيئول إليها الكون في المستقبل، وأصدق مثال على هذا ذرات اليورانيوم التي لا يمكن حساب الوقت اللازم لاضمحلالها إلا بمراقبة عملية الاضمحلال نفسها، فلا يستطيع كائن على وجه الأرض أن يتنبأ باضمحلال ذرة يورانيوم.

وفي ديسمبر/كانون الأول من عام ١٩٢٦ كتب أينشتاين يرد على دراسة بورن قائلًا: «إن لميكانيكا الكم منا شديد الاحترام، لكن هناك صوتًا يتردد بداخلي لا يزال يلح عليّ قائلًا إن هذه ليست هي الحقيقة، ومع أن هذه النظرية أضافت كثيرًا للعلم فإنها لم تقربنا من معرفة طريقة الرب في تصريفه لأمور الكون، وإنني من جهتي لست مقتنعًا بأنها تقوم على إلقاء النرد أو شيء من هذا القبيل.»[١٧] ثم علق على نظرية هايزنبرج قائلًا: «لقد وضع هايزنبرج بيضة كمية كبيرة أعجبت أهل جوتنجن (لكنها لم تعجبني).»[١٨] وحتى شرودنجر نفسه استاء كثيرًا من هذه الفكرة حتى إنه قال ذات مرة إنه لو صح أن معادلته لا تقدم سوى الاحتمالات فإنه نادم على صياغتها، واتفق معه أينشتاين عندما قال إنه لو علم أن ثورة فيزياء الكم التي كان هو من المساهمين فيها ستدخل مفهوم الصدفة إلى الفيزياء لفضل أن يتركها ويعمل «إسكافيًّا أو موظفًا بدار للقمار.»[١٩]

بدأ الفيزيائيون ينقسمون على أنفسهم إلى فريقين؛[٢٠] قاد أينشتاين الفريق الأول المتمسك بالحتمية تلك الفكرة التي تعود لزمن نيوتن والتي اهتدى الفيزيائيون بها لقرون عديدة، وكان من بين أعضاء هذا الفريق شرودنجر وبرولي، أما الفريق الثاني فقد تزعمه نيلز بور الذي آمن بمبدأ عدم اليقين ونادى بمفهوم جديد للسببية يقوم على النسب التقريبية للاحتمالات.

كانت شخصيتا بور وأينشتاين على طرفي نقيض؛ فأينشتاين في صغره كان زاهدًا في الألعاب الرياضية ومقبلًا على كتب الهندسة والفلسفة، أما بور فاشتهر في جميع أنحاء الدنمارك بكونه واحدًا من نجوم كرة القدم اللامعين. لكن بور لم يكن خطيبًا مفوهًا كأينشتاين الذي كان ماهرًا في تبادل الدعابات مع الجميع سواء كانوا صحفيين أم ملوكًا، بل إن بور كان كثير اللعثمة لا يفهم معظم كلامه وغالبًا لا يسمع، وكثيرًا ما يظل يردد كلمة معينة بلا توقف إذا انخرط في تفكير عميق. واختلف العالمان أيضًا في كتابة البحوث؛ فأينشتاين كان يمتلك قدرة على صياغة أبحاثه بلغة رصينة وجميلة دون مجهود يذكر، أما بور فعُرف بعجزه عن كتابة أبحاثه، حتى إنه في المدرسة الثانوية اعتاد أن يملي أبحاثه على أمه، وبعد أن تزوج صار يمليها على زوجته (حتى إنه أملاها بحثًا مهمًّا وطويلًا في منتصف شهر العسل). بل إنه كان يكلف جميع أفراد فريق مختبره بإعادة كتابة أبحاثه ولو اضطروا لكتابتها مائة مرة حتى لو عطل هذا عملهم في المختبر. (ذات مرة طُلب من فولفجانج باولي أن يزور بور في كوبنهاجن فرد قائلًا: «سأزوره حين ينتهي من كتابة النسخة النهائية لبحثه.»[٢١]) لكن كلا العالمين كان يجمعهما هوسهما بحبهما الأول: الفيزياء، حتى إن بور كان يكتب بعض المعادلات على عارضة المرمى بملعب الكرة إذا أتاه الإلهام بها أثناء اللعب، وكان كلاهما يستخدم الآخرين كوسيلة لصقل أفكاره الجديدة عن طريق استطلاع آرائهم في تلك الأفكار. (والغريب أن بور لم يكن يستطيع أن يعمل إلا إذا كان معه مساعد يلقي له بالفكرة فيصارحه برأيه فيها وبدون هذا المساعد يصير قليل الحيلة.)

ثم جاء وقت المواجهة أخيرًا في مؤتمر سولفاي السادس الذي عقد عام ١٩٣٠ في براسلس، لكن ما كان على المحك في هذه المواجهة هو الحقيقة نفسها، وهناك انقض أينشتاين على بور مهاجمًا أفكاره بلا هوادة، لكن بور استطاع أن يدافع عن آرائه برغم ترنحه تحت هذا الهجوم، ثم ختم أينشتاين حديثه بعرض تجربة فكرية رصينة ظن أنها سوف تقضي على ذلك «الشيطان» المتمثل في مبدأ عدم اليقين، وفيها تخيل صندوقًا به إشعاع، وهذا الصندوق به ثقب يغلقه مصراع، وإذا فُتح هذا المصراع لفترة وجيزة

يمكن أن يخرج منه فوتون واحد، وبهذه الطريقة يمكننا أن نحدد بقدر كبير من اليقين زمن خروج الفوتون، ثم بعد ذلك يمكننا أن نزن الصندوق وحينها سنجد وزنه قد قل بعد أن نقص منه وزن الفوتون الذي خرج، ومن مبدأ تكافؤ المادة مع الطاقة نستطيع تحديد كمية الطاقة التي يحتوي عليها الصندوق أيضًا بقدر كبير من الدقة. مما سبق نرى أننا استطعنا معرفة وقت انفتاح المصراع وكمية الطاقة ولم نستخدم مبدأ عدم اليقين مما يجعله مبدءًا خاطئًا، وهو ما اعتقد أينشتاين أنه قد وجد به أداة للقضاء على نظرية الكم نهائيًّا.

كان من بين شهود تلك الموقعة الحامية بول إيرينفست الذي كتب: «كانت هذه ضربة قاضية لبور الذي استغلق عليه الكلام ولم يجد ما يرد به على أينشتاين، فظل تعيسًا طوال الأمسية وأخذ يحاول إقناع جميع الحضور كل على حدة بأن ما يقوله أينشتاين لا يمكن أن يكون صحيحًا لأنه لو صح لكانت هذه نهاية الفيزياء. لن أنسى ما حييت مشهد هذين الخصمين وهما يغادران نادي الجامعة، فأينشتاين يتبختر في خيلاء وعلى ثغره ابتسامة ساخرة وبور يمشي بجانبه متعثرًا وهو في قمة الإحباط.»[٢٢] وفي نهاية الأمسية حينما حاول إيرينفست أن يتكلم مع بور لم يحر الأخير جوابًا سوى أن أخذ يغمغم مرارًا بكلمة واحدة هي: «أينشتاين ... أينشتاين ... أينشتاين». لكن بعد أن أفاق بور في اليوم الثاني بعد نوم عميق لمع في ذهنه الخلل الذي يبطل حجة أينشتاين ورأى أنه يستطيع استخدام النسبية لهزيمة صاحبها؛ أدرك بور أنه إذا نقص وزن الصندوق بعد خروج الفوتون فلا بد أنه سوف يرتفع ارتفاعًا طفيفًا بالاتساق مع الجاذبية الأرضية، لكن النسبية العامة تنص على أن الزمن يسرع كلما قلت الجاذبية (وهو ما يجعل الساعة تدق بشكل أسرع على القمر منها على الأرض). وهذا يعني أنه إذا كانت هناك نسبة ولو ضئيلة من عدم اليقين في تحديد وقت انفتاح المصراع فإن هذا يعني عدم يقين من موقع الصندوق، أي أنه لن يتأتى تحديد هذا الموقع تحديدًا دقيقًا، إلى جانب أن عدم تحديد وزن الصندوق بالضبط سوف يؤدي إلى عدم يقين من طاقته وكمية حركته، وإذا جمعنا هذه الملاحظات في صورة واحدة فسنجد أن عدم اليقين من الموقع وعدم

اليقين من كمية الحركة يتفقان مع المبدأ العام لعدم اليقين. وهكذا نجح بور في الدفاع عن نظرية الكم، لكن أينشتاين جدد اعتراضه قائلًا: «إن الرب لا يترك الكون رهنًا للمصادفة.» فرد عليه بور صائحًا: «كفاك ولا تُمْلِ على الرب أفعاله.»

وفي النهاية اضطر أينشتاين إلى أن يقر بأن بور نجح في تفنيد حجته فكتب: «لقد بت الآن مقتنعًا بأن في هذه النظرية شيئًا من الحقيقة.»[٢٣] علق جون ويلر على ذلك السجال التاريخي بين بور وأينشتاين بقوله: «لم أعرف في تاريخ العلم بأسره جدالًا علميًا أعظم من هذا، فطوال ثلاثين عامًا لم أسمع عن جدال جرى بين شخصين أعظم منهما واستمر مدة أطول من جدالهما حول مسألة أهم من فهم الكون الغريب الذي نعيش فيه.»[٢٤]

لكن شرودنجر الذي سبق أن أعلن كراهيته لذلك التفسير الجديد لمعادلاته حتى إنه كتب: «إنني أكرهه وإنني آسف لأن اسمي ارتبط به بشكل أو بآخر.»[٢٥] وحاول بشتى الأشكال أن يعيبه فخرج بمسألة القطة الشهيرة، وعنها كتب يقول لنضرب مثالًا غاية في التفاهة بأن نفترض أن هناك قطة موضوعة في صندوق مغلق، ومعها زجاجة تحتوي على حمض الهيدروسيانيك الذي ينبعث منه غاز سام، وبجوارها مطرقة متصلة بعداد جايجر المتصل بدوره بكمية من مادة اليورانيوم المشعة. ليس هناك خلاف على أن اضمحلال اليورانيوم هو تأثير كمي، فإذا لم يضمحل فستبقى القطة على قيد الحياة، أما إذا اضمحل فسوف يستشعر العداد هذا ويحرك المطرقة لتكسر الزجاجة فتموت القطة مسمومة. لكن ما تنص عليه نظرية الكم هو أننا لا نستطيع التنبؤ بوقت اضمحلال ذرة اليورانيوم، مما يعني أنه من الناحية النظرية يمكن أن توجد تلك الذرة في الحالتين، الاضمحلال وعدمه، في ذات الوقت. لكن إذا استطاع اليورانيوم أن يوجد في الحالتين معًا فإن هذا يعني أن القطة كذلك ستوجد في الحالتين معًا، ويصير السؤال هنا أهي حية أم ميتة؟

الطبيعي أن نرى في هذا السؤال عدم منطقية، فحتى إن لم نستطع فتح الصندوق فإن المنطق يخبرنا بأن القطة لا بد أن تكون في واحدة فقط من الحالتين ولا يمكن أن تكون فيهما معًا، فلا شيء يمكن أن يكون حيًّا

وميتًا في نفس الوقت لأن هذا يعارض كل ما نعرفه عن الكون وعن الواقع الطبيعي، لكن نظرية الكم تقدم لنا إجابة غريبة وهي أننا لا نعرف حالتها؛ فقبل أن نفتح الصندوق تتمثل القطة لنا في صورة موجة والموجات يُضاف بعضها إلى بعض كالأعداد، وهذا يعني أن علينا أن نضيف موجة القطة الميتة إلى موجة القطة الحية، «أي أن القطة قبل فتح الصندوق ليست حية ولا ميتة.» وكل ما يمكننا قوله إنه في داخل الصندوق موجات تمثل القطة وهي حية وكذلك وهي ميتة في ذات الوقت.

عندما نفتح الصندوق سوف يتسنى لنا أن نجري عملية قياس نحدد من خلالها إذا كانت القطة حية أم ميتة، وهذه العملية تكون عن طريق إجراء ملاحظة خارجيّة تسمح لنا باستبعاد الوظائف الموجية غير الضرورية والإبقاء على الوظيفة الوحيدة الضرورية التي من خلالها نستطيع تحديد حالة القطة بكل دقة. يتمثل إجراء الملاحظة الخارجية هذا في تسليط ضوء في داخل الصندوق وهو ما يختصر الوظائف الموجية إلى وظيفة واحدة ويجعل الكيان موضوع الدراسة يستقر فجأة على حالة مؤكدة.

يمكننا أن نصوغ ما سبق بعبارة أخرى قائلين: «إن عملية الملاحظة تحدد الحالة النهائية للكيان المدروس.» تكمن نقطة الضعف في نظرية بور في السؤال الآتي: هل يكون للكيانات وجود بالفعل قبل القيام بعملية القياس؟ اعتبر أينشتاين ومعه شرودنجر أن هذا مناف للعقل تمامًا، لكن أينشتاين ظل لما بقي من حياته يصارع تلك الأسئلة الفلسفية العميقة دون جدوى (ولا تزال هذه الأسئلة محل جدال حتى يومنا هذا).

لكن هذا اللغز هز أينشتاين حتى الأعماق فقد أخذ يسأل نفسه؛ أولًا: إذا كنا نوجد قبل عملية القياس كجزء من الكون فإننا إذن لا نستطيع أن نقطع يقينًا هل نحن أحياء أم أموات، وهل كانت الديناصورات حية، وهل فنيت الأرض من مليارات السنين، ففي ظل هذه النظرية يغدو كل شيء ممكنًا مادامت عملية القياس لم تُجْرَ بعد. ثانيًا: تعني هذه النظرية أن عملية الملاحظة هي التي توجد الواقع ومن هذا نجد لدينا حلًّا جديدًا للسؤال الفلسفي القديم: هل تسقط الشجرة في الغابة بالفعل إن لم يلحظها أحد؟ إذا أجاب أحد معتنقي مذهب نيوتن على هذا السؤال لقال إن سقوط الشجر

ليس مرتبطًا بملاحظته، لكن أحد أتباع مدرسة كوبنهاجن قد يرد عليه قائلًا إن الشجرة توجد في جميع الحالات الممكنة (ساقطة، أو منتصبة، أو صغيرة، أو هرمة، أو محترقة، أو متعفنة ... إلخ) إلى أن تتم عملية القياس عليها وبعدها فقط سوف تبرز فجأة إلى الوجود. وبهذا تكون نظرية الكم قد قدمت إجابة غير متوقعة على الإطلاق عن هذا السؤال بأن قالت إن ملاحظة الشجرة هي ما تحدد حالتها إذا كانت ساقطة أم لا.

منذ أن كان أينشتاين يعمل بمكتب براءات الاختراع وهو يمتلك قدرة متفردة على تحديد أساس أي مشكلة، وهو ما جعله يسأل كل من يزوره في بيته هذا السؤال: «هل يوجد القمر فقط لأن فأرًا ينظر إليه؟»[٢٦] إذا كان أهل مدرسة كوبنهاجن محقون فالإجابة هي نعم يظهر القمر إلى الوجود عندما ينظر الفأر إليه وتختصر وظائفه الموجية. وعلى مدى أكثر من عقد ظهرت حلول كثيرة لمسألة القطة لكن أيًّا منها لم يكن حلًّا مقنعًا، ومع أن أحدًا لم يستطع إثبات خطأ ميكانيكا الكم فإن هذه الأسئلة ظلت إلى اليوم من أعظم التحديات التي تواجه علم الفيزياء.

وظل أينشتاين لفترة طويلة في تصارع مع أسس نظرية الكم محاولًا تفنيدها حتى إنه كتب: «لقد بذلت في نظرية الكم جهدًا ذهنيًّا يفوق الجهد الذي بذلته في النسبية العامة بمئات المرات.»[٢٧] لكنه بعد هذا التفكير العميق استطاع الخروج بما ظنه الحجة المبطلة لنظرية الكم، ففي عام ١٩٣٣ اشترك مع تلميذيه بوريس بودولسكي وناثان روزن باقتراح تجربة جديدة لا تزال حتى اليوم تسبب الصداع لفيزيائيي الكم والفلاسفة. عرفت هذه التجربة بتجربة الـ EPR ومع أنها لم تنجح تمامًا في إبطال نظرية الكم، كما تمنى أينشتاين، فإنها نجحت في إثبات أن تلك النظرية التي هي من الأساس غريبة جدًّا، تتخطى غرابتها حدود المعقول؛ افترضت هذه التجربة أن ذرة ما أُطلقت من داخلها إلكترونين ذهب كل منهما في اتجاه معاكس للآخر، وأخذا يدوران كالنحلة أحدهما يدور إلى الأعلى والآخر يدور إلى الأسفل، فهذا يعني أن مجموع دورانهما يساوي صفرًا، مع أننا لا نعرف أيهما يدور إلى الأعلى وأيهما يدور إلى الأسفل، وبعد حين يتباعد الإلكترونان أحدهما عن الآخر حتى تفصلهما مليارات الأميال، لكننا قبل أن نجري عملية القياس لن نستطيع أن نعرف دوران الإلكترونات.

لكن لنفترض أننا تمكنا أخيرًا من تحديد اتجاه دوران أحد الإلكترونين فوجدناه مثلًا يدور إلى الأعلى، حينها سوف نعرف فورًا اتجاه دوران الإلكترون الآخر مع أنه يبعد عنا مسافة عدة سنوات ضوئية، لأننا من البداية نعرف أنه يدور عكس اتجاه الإلكترون الآخر، وهذا يعني أن إجراء قياس في أحد أجزاء الكون يحدد بشكل فوري حالة إلكترون في الجانب الآخر من الكون وهو ما يبدو مناقضًا للنسبية الخاصة. أطلق أينشتاين على هذا الاستنتاج اسم «التأثير الشبحي عن بعد»[٢٨]، وكانت له دلالات فلسفية مذهلة؛ فهو يعني أن بعض ذرات أجسادنا قد تكون متصلة عن طريق شبكة غير مرئية بذرات أخرى توجد في الجانب الآخر من الكون، بحيث تؤثر حركة ذرات أجسادنا على حال ذرات أخرى تبعد عنها مسافة تقدر بمليارات السنين الضوئية وهو ما يناقض النسبية الخاصة أشد التناقض. لكن أينشتاين نفسه لم ترق له هذه الفكرة لأنها كانت تعني أن أجزاء الكون غير منفصلة بعضها عن بعض، فالأحداث التي تقع على الأرض تؤثر تأثيرًا فوريًّا يتعدى سرعة الضوء على الأحداث التي تقع في الجانب الآخر من الكون.

وعندما سمع شرودنجر أنباء هذه الفكرة الجديدة التي تنقض ميكانيكا الكم كتب إلى أينشتاين: «لقد سعدت كثيرًا عندما علمت أنك في ذلك البحث ... وجهت ضربة قوية لميكانيكا الكم.»[٢٩] أما ليون روزنفيلد وهو أحد زملاء بور فقد كتب يقول: «ما إن سمعنا بالخبر حتى تركنا كل ما في أيدينا كي نوضح سوء الفهم هذا، وبدأ بور على الفور في إملاء النسخة الأولية من رده على أينشتاين على زملائه.»[٣٠]

استطاعت مدرسة كوبنهاجن أن تقف صلبة أمام هذا الهجوم الجديد لكن لم يأت هذا دون ثمن، فقد اضطر بور لأن يوافق أينشتاين على أن نظرية الكم ترى الكون غير منفصل (بحيث تؤثر الأحداث التي تقع في أحد جانبيه على الأحداث التي تقع في جانبه الآخر). وكل ما في الكون من كيانات معشقة بعضها في بعض في شبكة كونية معقدة، مما يعني أن تجربة الـ EPR لم تبطل ميكانيكا الكم بل أظهرت فقط ما تتميز به من جنون. (وبمرور الزمن فُهمت هذه التجربة فهمًا خاطئًا فقد ظن البعض

أنه يمكن تصنيع جهاز يطلق أشعة أسرع من موجات الراديو من خلال الـ EPR، أو أنه يمكن من خلالها إرسال إشارات إلى الزمن الماضي، أو أنها يمكن أن تستخدم للتخاطر العقلي.)

لكن الحقيقة أن تلك التجربة لم تكن متعارضة مع النسبية وهو الأمر الذي جعل أينشتاين المنتصر في هذا الجدل، لأن تجربة الـ EPR لا تستطيع إرسال أي معلومات مفيدة بسرعة تتعدى سرعة الضوء، فمثلًا لا يمكن إرسال إشارات بشفرة مورس بسرعة تفوق سرعة الضوء من خلال جهاز الـ EPR. ولتوضيح هذه المشكلة ذكر العالم الفيزيائي جون بيل مثالًا يصف عالمًا رياضيًّا يدعى برتلمان وكان هذا العالم دائمًا يلبس في إحدى قدميه جوربًا ورديًّا وفي القدم الأخرى جوربًا أخضر، وهو على هذه العادة لدرجة أن كل من يعرفونه إن لمحوا الجورب الأخضر في إحدى قدميه أيقنوا فورًا أنه يرتدي الجورب الوردي في الأخرى، لكن لم تكن هناك أي إشارة تنتقل من بين القدمين، وهو ما يعني أن معرفتنا بوجود شيء ما هو أمر يختلف تمامًا عن إرسالنا لتلك المعرفة.

بحلول أواخر عشرينيات القرن العشرين كان هناك مدرستان كبيرتان للفيزياء في العالم هما مدرسة النسبية ومدرسة نظرية الكم، وفيهما تمثلت كل المعرفة البشرية بطبيعة الكون. أما عن النسبية فقد نظرت لظواهر غاية في الضخامة وهي الانفجار العظيم والثقوب السوداء، وأما نظرية الكم فقد نظرت لظواهر غاية في الدقة تتمثل في غرائب الذرة وما تحويه. ومع أن نظرية الكم ارتكزت على أفكار تنافي المنطق فإن أحدًا لم يستطع أن يدحض نتائج التجارب التي أثبتتها، حتى إن جوائز نوبل انهالت على مجموعة من الفيزيائيين الشباب الذين استخدموا تطبيقات تلك النظرية. وأينشتاين نفسه كان أكثر خبرة من أن يتجاهل ذلك التقدم الحادث بشكل شبه يومي في نظرية الكم، ولهذا فلم يجادل في التجارب الناجحة التي أكدتها بل إنه اعترف بهذا حين قال: «إن ميكانيكا الكم هي أكثر النظريات الفيزيائية نجاحًا في عصرنا هذا.»[٢١] ولم يحاول كذلك أن يعوق تقدم تلك النظرية وهو ما كان سيفعله أي فيزيائي آخر أقل علمًا. (عام ١٩٢٩ رشح أينشتاين شرودنجر وهايزنبرج لينالا جائزة نوبل مناصفة.) لكنه لجأ إلى استراتيجية

مختلفة وبدلًا من أن يشكك في صحة النظرية سعى إلى دمجها في نظريته للمجالات الموحدة. وعندما هاجمه مؤيدو بور واتهموه بأنه يتجاهل نظرية الكم رد عليهم قائلًا إن له هدفًا واسعًا سعة الكون ذاته، فهو يريد احتواء نظرية الكم كاملة في نظريته الجديدة كما فعل في نظريته الأولى، فالنسبية لم تأت لتثبت أن قوانين نيوتن خاطئة تمامًا بل لتظهر ما فيها من قصور يمكن علاجه بنظرية أوسع. أي أن قوانين الحركة التي وضعها نيوتن تصلح للتطبيق على مجالها المحدود الذي تتحرك فيها الكيانات الكبيرة بسرعات صغيرة. وبالمثل يمكن تفسير تلك الفرضيات الغريبة التي تضعها نظرية الكم عن كون القطط حية أم ميتة من خلال نظرية أوسع مجالًا. الواقع أن كثيرًا من مؤرخي سيرة أينشتاين أخطئوا فهم مقصده من وراء رغبته في دمج نظرية الكم في نظرية المجالات الموحدة وبدءوا يصورونه في شكل الفيزيائي الذي كان ثائرًا ثم أصبح نموذجًا للرجعية، وأنه آخر رموز الحرس القديم الذي يتمسك بالفيزياء التقليدية، لكن الحقيقة أنه لم يكن يهدف إلى إبطال نظرية الكم كما ظن منتقدوه بل كان يرمي إلى إظهار قصورها واستخدام نظرية المجالات الموحدة لمعالجة هذا القصور، بل إن أحد أهم الأسس التي قامت عليها نظرية المجالات الموحدة هو محاولة إعادة صياغة مبدأ عدم اليقين بشكل أقل تطرفًا.

حاول أينشتاين استخدام النسبية العامة مع نظرية المجالات الموحدة لتحديد أصل المادة أو «لتفسيرها هندسيًّا». عام ١٩٣٥ أخذ أينشتاين وناثان روزن في دراسة طريقة جديدة تبدو من خلالها الجسيمات الكمية كالإلكترونات نتائج طبيعية للنسبية بدلًا من أن تكون كيانات أساسية في ذاتها، وبهذا الشكل يتأتى الخروج بنظرية الكم دون الحاجة إلى الاعتماد على الصدفة والاحتمالات. في معظم النظريات تظهر الجسيمات الأولية كظواهر شاذة وعندها تأخذ المعادلات في الزيادة بجنون، وللتمثيل على هذا لنتأمل معادلات نيوتن التي تقدر القوة فيها بالتربيع العكسي للمسافة بين جسمين، عندما تصير المسافة صفرًا تصبح قوة الجاذبية غير محدودة وهو ما يعتبر ظاهرة شاذة. ولأن أينشتاين كان يرغب في اشتقاق نظرية الكم من نظرية أوسع مجالًا فقد أدرك أنه يحتاج لنظرية خالية تمامًا من أي ظواهر شاذة.

(والأمثلة على هذا توجد في بعض التطبيقات البسيطة على نظرية الكم وتسمى «سوليتونات» وهي تشبه العقد لكنها سلسة وغير شاذة ويمكنها أن يصطدم بعضها ببعض وترتد مع المحافظة على شكلها دون أن تتغير.)

اقترح أينشتاين وروزن طريقة جديدة للخروج بمثل هذا الحل؛ فبدآ بتحديد ثقبين أسودين من ثقوب شفارتزشيلد على ورقتين منفصلتين ثم وضحا أنه من الممكن بواسطة مقص أن تنتزع جميع الأجزاء غير المتسقة من الثقبين ثم يعاد لصق الورقتين معًا. ومن خلال هذا نستطيع أن نحصل على حل سلس خال من الظواهر الشاذة، وهو ما يمثل، كما اعتقد أينشتاين، الجسيم دون الذري. مما يعني أن الجسيمات الكمية يمكن أن تصور على أنها ثقوب سوداء صغيرة. (أُعيد إحياء هذه الفكرة مرة أخرى بعد ستين عامًا في صورة نظرية الأوتار التي تنص على أنه توجد علاقات رياضية قادرة على تحويل الجسيمات دون الذرية إلى ثقوب سوداء وبالعكس.)

لكننا نستطيع أن ننظر إلى فكرة أينشتاين وروزن هذه بشكل آخر، فهي تعتبر أول إشارة للثقوب الدودية في المؤلفات العلمية وهذه الثقوب الدودية يفترض أنها تصل بين كونين، لأنها أشبه بطرق مختصرة خلال الزمان والمكان كبوابات تربط قطعتين من الورق معًا. وكان العالم الرياضي تشارلز دودجسن الأستاذ بجامعة أوكسفورد (والشهير باسم لويس كارول) ومؤلف الروايات، هو أول من قدم مفهوم الثقوب الدودية إلى العامة في روايتيه «أليس في بلاد العجائب»، و«خلال المرآة»؛ فقد جعلنا نرى أليس وهي تخترق بيدها المرآة فتدخل إلى نوع من أنواع الجسور التي افترض أينشتاين وروزن أنها تربط بين كونين هما عالم بلاد العجائب الغريب وريف أكسفورد. لكن أحدًا لا يستطيع أن يعبر جسر أينشتاين-روزن لأنه إن عبره سوف ينسحق جسده بفعل قوة الجاذبية الخارقة والقادرة على تمزيق ذرات جسده، إلى جانب أن عبور الثقب الدودي هذا إلى كون موازٍ يكون مستحيلًا في حالة إذا كان الثقب الأسود ثابتًا. (بعد هذا بستين سنة صار مفهوم الثقوب الدودية يلعب دورًا مهمًا في الفيزياء.)

لكن أينشتاين تخلى عن تلك الفكرة في النهاية لأكثر من سبب، أحدها أنه لم يستطع تفسير ازدحام عالم الجسيمات دون الذرية، ولم يستطع أن

يفسر بشكل كامل جميع الخصائص الغريبة لـ«الخشب» في إطار «الرخام»؛ فالجسيمات دون الذرية لها ملامح كثيرة تفوق الحصر (كالكتلة، والدوران، والشحنة، والأعداد الكمية ... إلخ) مما أعجزه عن اشتقاقها من معادلاته. لقد كان هدفه هو أن يجد الصورة التي توضح نظرية المجالات الموحدة في أبهى حلة لكن المشكلة التي واجهته أنه في ذلك العصر لم تكن هناك المعرفة الكافية بالقوة النووية، لأنه قد أجرى أبحاثه قبل أن يكتشف الانشطار النووي الذي وضح طبيعة المادة دون الذرية بعشرات السنين، ونتيجة لهذا لم تخرج هذه الصورة إلى الوجود أبدًا.

الفصل الثامن

الحرب والسلام و $E = mc^2$

في ثلاثينيات القرن العشرين — والعالم يئن تحت وطأة الكساد العظيم — بدأت الفوضى تسيطر مرة أخرى على ألمانيا، وبعد أن انهارت العملة الألمانية، استيقظ أفراد الطبقة المتوسطة ذات صباح ليجدوا مدخراتهم قد تبخرت بين عشية وضحاها. شهدت تلك الفترة صعود الحزب النازي الذي استغل بؤس الشعب الألماني ومعاناته ونجح في توجيه غضبه نحو اليهود الذين كانوا أصلح من يمكن أن يستخدم ككبش فداء، ولم يمض وقت طويل حتى تمكن ذلك الحزب بدعم من بعض كبار رجال الصناعة من أن يصير أكبر قوة في البرلمان الألماني. وهنا أدرك أينشتاين الذي ظل سنوات طويلة يقاوم معادي السامية أن الوضع صار يمثل خطرًا على حياته، ومع أنه كان من أنصار السلام، فقد كان أيضًا واقعيًّا استطاع أن يعدل أفكاره في ظل الصعود المفاجئ للحزب النازي، وكتب: «يعني هذا أنني أعارض استخدام القوة تحت كل الظروف إلا في مواجهة عدو غايته الأساسية تدمير الحياة.»[١] وفي مرحلة لاحقة وضعت مرونته الفكرية تلك على المحك.

صدر في ألمانيا عام ١٩٣١ كتاب بعنوان «مائة عالم يعارضون أينشتاين» وتضمن كل صور الافتراءات المعادية للسامية على ذلك الفيزيائي المشهور، وجاء فيه: «الهدف من هذا الكتاب هو مناهضة الإرهاب الفكري لأتباع أينشتاين وإظهار قوة معارضيهم.»[٢] فيما بعد قال أينشتاين ساخرًا إنهم لا يحتاجون لمائة عالم كي يهدموا النسبية، فلو كانت خاطئة لكفتهم حجة واحدة صغيرة. وفي ديسمبر/كانون الأول عام ١٩٣٢ رحل أينشتاين نهائيًّا عن ألمانيا بعدما عجز عن مقاومة مد النازية، وعند مغادرته لبيته

الريفي في كابوت قال لإلسا في حزن: «ألقي على هذا البيت النظرة الأخيرة فلن تعودي إليه أبدًا.»[٣] وفي ٣٠ يناير/كانون الثاني عام ١٩٣٢ ازداد الوضع تدهورًا عندما استولى الحزب النازي آخر الأمر على السلطة بعد أن أصبح أكبر كتلة في البرلمان، وعُيِّن أدولف هتلر مستشارًا لألمانيا. ولم يتمهل النازيون فصادروا جميع أملاك أينشتاين وحسابه المصرفي وتركوه من الناحية الرسمية معدمًا، واستولوا على منزله الريفي بكابوت الذي كان يحبه جدًّا ويقضي فيه عطلاته بحجة أنهم وجدوا فيه سلاحًا خطيرًا (تبين فيما بعد أن هذا السلاح سكين لتقطيع الخبز، وخلال فترة حكم الرايخ الثالث استخدمت هذا البيت «عصبة الفتيات الألمانيات».) وفي ١٠ مايو/أيار من ذات العام أحرق النازيون بعض الكتب الممنوعة على الملأ، ومن بينها أعمال أينشتاين، بعدها كتب أينشتاين مخاطبًا الشعب البلجيكي الذي كان في حالة عداء مع ألمانيا: «لو كنت بلجيكيًّا لما رفضت تأدية الخدمة العسكرية في ظل الظروف الراهنة.»[٤] وهو التصريح الذي تناقلته وسائل الإعلام العالمية بسرعة البرق وجلب عليه السخط، ليس من النازيين وحدهم، بل أيضًا من رفاقه دعاة السلام الذين كان معظمهم يؤمنون بأن الطرق السلمية هي القادرة وحدها على مواجهة هتلر، لكنه كان على عكسهم يدرك جيدًا مدى وحشية النظام النازي ولهذا فلم يثنه هذا النقد عن موقفه وكتب: «إن مناهضي الحرب صاروا يهاجمونني كما لو كنت مرتدًّا زنديقًا ... إن هؤلاء الرفاق في الواقع يتعامون عن الحقيقة.»[٥]

بعد أن اضطر أينشتاين للرحيل عن ألمانيا عاد من جديد بلا وطن، حتى إنه حين زار إنجلترا عام ١٩٣٣ وعرج على ضيعة ونستون تشرشل كتب في سجل الزوار تحت خانة العنوان: «لا يوجد.» وصار أكثر حرصًا على أمنه الشخصي بعد أن صار يتصدر قائمة المغضوب عليهم من الحزب النازي، وخاصة بعد أن نشرت إحدى المجلات الألمانية قائمة بأعداء النظام ووضعت صورته على الغلاف وتحتها عبارة «لم يشنق بعد». أخذ أعداء السامية يتفاخرون بأنهم إذ أبعدوا أينشتاين من البلاد قادرون على طرد بقية العلماء اليهود، وفي الوقت نفسه أصدر النازيون قانونًا جديدًا يقضي بفصل جميع المسئولين اليهود، وهو ما كان وبالًا على الحركة الفيزيائية

بألمانيا؛ ففي السنة الأولى اضطر تسعة من حائزي جائزة نوبل في الفيزياء إلى الرحيل عن ألمانيا بسبب قانون الخدمة المدنية الجديد، وفُصل ألف وسبعمائة من أعضاء هيئات التدريس بالجامعات من وظائفهم، فسبب هذا نزيفًا حادًّا في التقدم العلمي والتكنولوجي الألماني، إلى جانب أن الهجرة الجماعية التي شهدتها جميع أرجاء أوروبا تحت سيطرة النازيين أقصت عنها آخر الأمر صفوة علمائها.

لكن ماكس بلانك الذي كان طيلة حياته إنسانًا مسالمًا يسعى لتقريب وجهات النظر بدلًا من التناحر رفض جميع جهود زملائه لإقناعه بالجهر بمعارضته لهتلر، وفضل أن يستخدم قنواته الخاصة للحوار معه حتى إنه التقى به في مايو/أيار من عام ١٩٣٣، وفي هذا اللقاء قدم له التماسًا أخيرًا لأن يوقف انهيار الحركة العلمية بألمانيا. وعن هذا اللقاء كتب: «كنت آمل أن أستطيع إقناعه بأن ما يقوم به هو كارثة كبرى ... فقلت له إنك بطردك لزملائنا اليهود تقوم بفعل لا إنساني ولا أخلاقي لأنك تضطهد أناسًا كانوا يعتبرون أنفسهم مواطنين ألمانًا، ولم يتوانوا كغيرهم من أبناء الشعب عن تقديم أرواحهم لأجل هذا البلد.»[٦] لكن هتلر رد عليه بقوله إنه لا يضمر عداوة لليهود سوى أنهم شيوعيون، وعندما حاول بلانك أن يرد عليه صاح به قائلًا: «إن الناس تقول إن الضعف يتملك أعصابي أحيانًا، لكن الحقيقة أن أعصابي فولاذية.»[٧] ثم خبط بكفه على ركبته واستكمل خطبته العصماء في هجاء اليهود، ندم بلانك على أنه قابله فقال: «لقد فشلت في فهم أنه لا سبيل للحوار مع مثل هؤلاء الناس.»[٨]

وكان من بين زملاء أينشتاين اليهود الذين هربوا من ألمانيا كي ينجوا بحياتهم ليو زيلارد الذي أخفى جميع مدخراته في حذائه أثناء هروبه، وفريتز هابر الذي فر عام ١٩٣٣ إلى فلسطين (من سخرية القدر أنه بصفته عالمًا ألمانيًّا مخلصًا لبلده كان قد شارك في إنتاج غاز سام للجيش الألماني، وهو الغاز الذي اشتهر فيما بعد باسم زيكلون بي. وبعد ذلك استخدم هذا الغاز نفسه في قتل كثير من أفراد عائلته في معسكر أوشفيتز للاعتقال.) وخرج أيضًا إرفن شرودنجر — مع أنه لم يكن يهوديًّا — من ألمانيا بضغط من الهستيريا الجماعية التي أصابت شعبها؛ فعندما أعلن

النازيون في ٣١ مارس/آذار من عام ١٩٣٣ المقاطعة الوطنية لجميع المتاجر اليهودية تصادف وجود شرودنجر أمام متجر فرتهايم وهو واحد من أكبر المتاجر اليهودية في برلين، وفجأة وجد مجموعة من جنود الصاعقة ممن يرتدون شارات الصلبان النازية المعقوفة يجرون صاحب المتجر إلى الشارع ويوسعونه ضربًا وسط ضحكات رجال الشرطة والناس المتجمهرين، لم يتمالك شرودنجر نفسه من الغضب لمرأى ذلك المشهد، فذهب إلى أحد جنود الصاعقة وأخذ يصيح فيه موبخًا، فما كان من الجنود إلا أن تحولوا إليه وانقضوا عليه يضربونه. كان من الممكن أن يتعرض لإصابات بالغة من جراء هذا الضرب المبرح،[٩] لولا أن تعرف عليه أحد الفيزيائيين الشباب وكان يرتدي هو الآخر الصليب المعقوف، فاستطاع أن يخرجه سالمًا من بينهم، لكن تلك الواقعة أحدثت صدعًا في نفس شرودنجر فرحل إلى إنجلترا ثم إلى أيرلندا.

وعام ١٩٤٣ احتل النازيون الدنمارك وأخذوا يبحثون عن بور، الذي كان يحمل دماء يهودية، لأنه كان من المطلوب إعدامهم، لكنه استطاع الفرار بشق الأنفس من رجال الجستابو عبر السويد التي كانت على الحياد، وطار منها إلى بريطانيا وكاد يهلك أثناء رحلته تلك بسبب فساد قناع الأكسجين الذي كان معه على الطائرة. أما بلانك الذي أبى عليه حسه الوطني أن يجعله يترك ألمانيا فقد عانى الويلات من النازيين بعد أن قُبض على ابنه لمحاولته اغتيال هتلر وعُذّب ثم أعدم بعد ذلك.

أصبح أينشتاين هاربًا من وطنه ومع ذلك فقد انهالت عليه عروض عمل من كبرى جامعات إنجلترا وأسبانيا وفرنسا، كل منها ترغب في ضم هذا العالم الفذ إلى صفوفها، لكن العرض الذي جذب أشد اهتمامه هو عرض من جامعة برنستون التي كان يعمل بها في السابق أستاذًا زائرًا، وكان دائمًا يقضي فصل الشتاء في برنستون وفصل الصيف في برلين. التقى أينشتاين أكثر من مرة بأبراهام فلكسنر الذي كان ممثلًا لمعهد جديد يزمع إنشاؤه في برنستون بمنحة قدرها خمسة ملايين دولار من مؤسسة بامبيرجر، وفي واحد من تلك اللقاءات عرض فلكسنر على أينشتاين أن يعمل في هذا المعهد، وكان أكثر ما راق أينشتاين في هذا العرض أنه يمنحه حرية السفر ويعفيه

من واجبات التدريس، لأن التدريس كان يشغله عن البحث مع أنه كان محاضرًا ذا شعبية واسعة قادرًا على أن يسحر الجمهور بحديثه وحسه الدعابي الطاغي.

كانت هذه خطوة جريئة من أينشتاين حتى إن أحد زملائه حذره قائلًا إنك بانتقالك إلى الولايات المتحدة بشكل دائم تقتل نفسك، ولم يأت هذا التحذير من فراغ لأن الولايات المتحدة قبل أن يتوافد عليها العلماء اليهود كانت مياه العلم فيها راكدة ولم تكن بها معاهد للدراسات العليا قادرة على منافسة نظيراتها الأوروبية. لكن أينشتاين تمسك بقراره حتى إنه دافع عنه في خطاب أرسله لإليزابيث ملكة بلجيكا قال فيه: «إن برنستون بلد صغير وجميل ... يمتلئ بتماثيل جميلة لأنصاف الآلهة. وبتجاهلي لبعض العادات الخاصة بها استطعت أن أهيئ لنفسي مناخًا مناسبًا للبحث بعيدًا عن أي مشتتات.»[١٠] وسرعان ما طارت أنباء انتقال أينشتاين إلى الولايات المتحدة إلى جميع أنحاء العالم، وعلم الناس أن حبر الفيزياء الأعظم قد ترك أوروبا، وصار معهد الدراسات المتقدمة ببرنستون هو فاتيكان العلم.

عندما اصطحب مسئولو برنستون أينشتاين إلى حجرة مكتبه للمرة الأولى سألوه عما يحتاج بخلاف المكتب والكرسي فأجابهم: «أحتاج سلة مهملات كبيرة ... كي ألقي فيها جميع أخطائي.»[١١] (قدم المعهد عرضًا آخر إلى إرفن شرودنجر لكنه رفضه لأنه وجد مناخ أمريكا متحفظًا بعض الشيء، وهو الذي كان لا يذهب إلى أي مكان إلا بصحبة زوجته وعشيقته ويمارس «زواجًا مفتوحًا» مع قائمة طويلة من العشيقات.) تحمس الشعب الأمريكي كثيرًا لمقدم أينشتاين إلى نيو جيرسي ولم يلبث أن صار أشهر علماء الولايات المتحدة، ولم يعد فيها من يجهله حتى إن اثنين من الأوروبيين تراهنا على أنهما إذا ما بعثا خطابًا بلا عنوان كتبا عليه «الدكتور أينشتاين، أمريكا»[١٢] سوف يصل له، وبالفعل وصل.

كانت فترة ثلاثينيات القرن العشرين هي الأقسى على أينشتاين على الصعيد الشخصي، ففيها تحققت أسوأ مخاوفه عندما أصيب ابنه إدوارد (وكان يناديه باسم التدليل تيديل) بانهيار عصبي بعد خروجه من علاقة حب فاشلة مع امرأة تكبره سنًّا، أدخل على إثره إلى مصحة برجوزلي النفسية

في سويسرا، وهي ذات المصحة التي أودعت بها أخت ميليفا سابقًا، وهناك تم تأكيد إصابته بالفصام ولم يغادر المصحة لبقية حياته إلا لبعض الزيارات القصيرة. كان أينشتاين يتوقع منذ زمن بعيد أن أحد ابنيه سوف يرث مرضًا عقليًّا من زوجته ميليفا، وألقى باللوم على «الصفات الموروثة»[١٣]، حتى إنه قال بأسى: «ظللت أرى المرض يتطور ببطء مذ كان تيديل طفلًا صغيرًا لكني لم أستطع إيقافه.»[١٤] وعام ١٩٣٣ أصيب صديقه الحميم بول إيرينفست الذي ساعده في وضع التصور الأولي للنسبية العامة باكتئاب، انتهى نهاية مأساوية بأن أطلق الرصاص على ابنه الصغير فقتله ثم انتحر.

ولم تتوقف المآسي عند هذا الحد فعام ١٩٣٦ توفيت إلسا بعد صراع طويل مع آلام المرض وبعد أن عاشت عشرين سنة مع أينشتاين، ولقد أثر موتها فيه أثرًا بالغًا وجعله «مصدومًا ومكتئبًا»[١٥] على حد قول أصدقائه لأنه بموتها «انقطعت أكبر صلة كانت تربطه بأي إنسان على وجه الأرض»[١٦]، لكنه بعد ذلك أخذ يتعافى من الصدمة تدريجيًّا. وعن هذا كتب: «لقد اعتدت الحياة هنا وصرت أعيش وحيدًا كالدب في عرينه ... وهذه الوحدة زادت بموت رفيقة دربي التي كانت تجيد التعامل مع الناس أكثر مني.»[١٧]

وبعد وفاة إلسا عاش أينشتاين مع شقيقته مايا التي كانت قد هربت من النازيين، ومارجو ابنة زوجته الراحلة، وهيلين دوكاس سكرتيرته. في ذلك الوقت كان في بداية المرحلة الأخيرة من حياته فخلال الثلاثينات والأربعينات بدا عليه الكبر بشكل متسارع جدًّا وعاد إلى مظهره الرث البوهيمي الذي كان عليه في شبابه، وتخلى عن التأنق الذي كان يبهر به حتى الملوك، لأن إلسا كانت هي التي تعنى بهذا قبل أن تموت، وصار معروفًا بين العامة بأنه أستاذ برنستون ذو الشعر الأبيض الثائر وبمودته التي يغدقها على الجميع سواء كانوا ملوكًا أو أطفالًا.

لكن أينشتاين لم يملك ترف الراحة، فحينما كان في برنستون وجد أمامه تحديًا آخر يتمثل في بناء القنبلة الذرية. كان قد تنبأ عام ١٩٠٥ بأن نظريته سوف تستطيع تفسير قدرة كمية صغيرة من الراديوم على التوهج بشكل مبالغ فيه في الظلام وإطلاق ذراتها لكميات كبيرة من الطاقة دون حدود. والواقع أن كمية الطاقة الكامنة في نواة الذرة تبلغ مئات الملايين

من أضعاف تلك الموجودة في الأسلحة الكيماوية. وبحلول عام ١٩٢٠ كان أينشتاين قد أدرك القدرات الهائلة للطاقة الكامنة في نواة الذرة وهو ما يلمس من كلامه حين كتب: «إنه من المحتمل، بل إنني أظنه من المحتوم، أن تظهر مصادر جديدة للطاقة أثرها أعظم من المصادر الحالية، لكن هذه الفكرة ليس هناك من الحقائق المعروفة لنا اليوم ما يدعمها. إنني لست ممن يتنبئون بالغيب لكنني أرى هذا ممكنًا الأيام القادمة.»[١٨] بل إنه عام ١٩٢١ تنبأ بأن الفحم الذي كان يستخدم وقتها في توليد الطاقة التي يقوم عليها الاقتصاد الصناعي سوف تستبدل به الطاقة النووية. لكنه أدرك كذلك أن هذا الأمر ينطوي على مشكلتين خطيرتين؛ أولاهما أن تلك النيران الكونية يمكن أن تستخدم في تصنيع قنبلة ذرية قادرة على أن تجر على الإنسانية بلاء عظيمًا وعنها كتب: «إن هذه القنبلة ستجعل جميع القنابل الأخرى تبدو كلعب الأطفال جوارها.»[١٩] وكتب أيضًا محذرًا من أن تلك القنبلة النووية يمكن أن تطلق العنان لإرهاب نووي أو حتى حرب نووية: «إذا افترضنا إمكانية التحكم في هذه الطاقة الهائلة، فحينها سوف نتحسر على عصرنا هذا الذي نعتبره اليوم عصرًا مظلمًا.»[٢٠]

أما عن المشكلة الثانية والأهم فتتمثل في الصعوبة الكبيرة التي ينطوي عليها إنتاج مثل هذا السلاح، بل إنه شكك في أن يحدث هذا خلال حياته لأن المشكلات العملية التي تعوق إطلاق الطاقة الكامنة في نواة الذرة ثم مضاعفتها مليارات المرات كانت تستعصي على الحل في ذلك الوقت من عشرينيات القرن العشرين، وعن هذا كتب: «إن صعوبة إنجاز هذا الأمر تماثل صعوبة إطلاق النار على طيور قليلة تطير في سماء مظلمة.»[٢١]

أدرك أينشتاين أن السبيل إلى هذا الأمر يتمثل في مضاعفة طاقة ذرة واحدة بوسيلة ما، فإذا استطعنا إخراج طاقة ذرة واحدة ثم تحفيز انطلاق طاقات الذرات المجاورة لها فهذا سيؤدي إلى تعظيم هذه الطاقة النووية. وقال إن هذا التفاعل التسلسلي يمكن أن يحدث إذا «كانت الأشعة المنطلقة ... قابلة بدورها لإحداث تأثيرات مماثلة»[٢٢] لكنه لم يكن يمتلك في ذلك الوقت أدنى فكرة عن كيفية حدوث هذا. وبالطبع كان هناك أناس آخرون اهتموا أشد الاهتمام بفكرة الطاقة الذرية لا لخير البشرية وإنما

لأغراض شريرة؛ ففي شهر أبريل/نيسان من عام ١٩٢٤ خاطب بول هارتيك وفيلهلم جروت القسم التشريعي بالجيش الألماني قائلين: «إن الدولة التي تسبق باستغلال هذه الطاقة سوف ترجح كفتها عن الدول الأخرى بما يفوق أي تصور.»[٢٣]

تتمثل المشكلة التي تعوق إطلاق الطاقة النووية فيما يأتي: تحوي نواة الذرة شحنة موجبة، وهو ما يجعلها تتنافر مع أي شحنة موجبة أخرى، أي أنها محمية ضد أي اصطدام عشوائي من شأنه أن يطلق تلك الطاقة التي هي نوعًا ما غير محدودة. كان إرنست رازرفورد، الذي ساهمت أبحاثه الرائدة في اكتشاف نواة الذرة، قد رفض فكرة القنبلة الذرية تمامًا وقال: «إن من يظن في إمكانية خروج طاقة من تحول هذه الذرات هو واهم ولا يعي ما يقول.»[٢٤] لكن رأيه هذا انتفى بطريقة دراماتيكية عام ١٩٣٢ عندما اكتشف جيمس تشادويك جسيمًا جديدًا وهو النيوترون الذي يوجد مع البروتون في الذرات ذات الشحنة المحايدة. فإذا استطعنا أن نطلق شعاعًا نيوترونيًّا على النواة فستستطيع النيوترونات التي لن تصدها شحنة النواة الموجبة أن تخترقها مطلقة طاقتها، وهنا أدرك الفيزيائيون أن تلك النيوترونات قادرة بكل بساطة على أن تشطر الذرة وتنزع فتيل أي قنبلة ذرية.

ومع أن أينشتاين نفسه شكك في البداية في إمكانية تصنيع مثل هذه القنبلة فإن تقدمًا متسارعًا حدث في هذا المجال وأدى إلى نجاح الانشطار الذري، فعام ١٩٣٨ أحدث أوتو هان وفريتز شتراسمان الباحثان بمعهد القيصر فيلهلم للفيزياء في برلين هزة كبيرة في الوسط الفيزيائي حينما نجحا في شطر ذرة يورانيوم. وبعد أن قذفا ذرة اليورانيوم بالنيوترونات وجدا آثارًا لعنصر الباريوم وهو ما يعني أن الذرة انشطرت إلى نصفين مكونة لهذا العنصر. ثم توصلت العالمة اليهودية ليز مايتنر، التي كانت زميلة لهان، مع ابن أختها أوتو فريش إلى الأسس النظرية التي كانت تنقص نتائج هان بعد أن فر ذلك أوتو من النازيين، وكان ما توصلا إليه هو أن المخلفات الناتجة عن عملية الانشطار تقل في الوزن عن نواة اليورانيوم السليمة وهو ما يعني أن هناك كتلة قد اختفت خلال التفاعل، ونتج عن

ذات الانشطار إطلاق طاقة تقدر بمائتي مليون فولت إلكتروني ظهرت، كما يبدو، من العدم. وهنا برز السؤال: أين ذهبت تلك الكتلة المفقودة؟ ومن أين أتت تلك الطاقة الغامضة؟ أدركت مايتنر أن حل ذلك اللغز يكمن في معادلة أينشتاين الشهيرة: $E = mc^2$. فإذا أخذنا الكتلة المفقودة وضربناها في تربيع السرعة فسنخرج بمائتي مليون إلكترون بالضبط وهو ما يتوافق مع نظرية أينشتاين. عندما سمع بور عن ذلك التأكيد المدهش لنظرية أينشتاين أدرك على الفور أهمية هذه النتيجة وخبط جبهته بكفه قائلًا: «آه، لكم كنا حمقى.»[٢٥]

وفي مارس/آذار من عام ١٩٣٩ قال أينشتاين في حديثه لصحيفة نيويورك تايمز إن هذه النتائج حتى الآن «لا تقطع بإمكانية الاستخدام العملي للطاقة الذرية ... لكن هذا لا يعني أن أي فيزيائي مهما كان قليل الهمة سوف يثنيه هذا عن البحث في هذا الموضوع المهم.»[٢٦] والمفارقة أنه في ذات الشهر اكتشف إنريكو فيرمي وفريدريك جوليو كوري (زوج ابنة ماري كوري) أنه ينجم عن انشطار ذرة اليورانيوم انطلاق نيوترونين. كان هذا الاكتشاف مذهلًا لأنه إذا نجح هذان النيوترونان في شطر ذرتي يورانيوم أخريين فسينتج عن هذا أربعة نيوترونات فثمانية فستة عشر فاثنان وثلاثون إلى ما لانهاية، حتى تنطلق طاقة تفوق الخيال في عظمها بتفاعل متسلسل، وخلال جزء واحد من الثانية يمكن لانشطار ذرة يورانيوم واحدة أن يحفز انشطار تريليونات تريليونات الذرات الأخرى مطلقًا كمية هائلة من الطاقة لا يتصورها عقل. بعد هذا الكشف وقف فيرمي متطلعًا من نافذة مكتبه بجامعة كولومبيا وأصابه الغم حين أدرك أن قنبلة نووية واحدة قادرة على تدمير كل ما يمتد إليه بصره من مدينة نيويورك.

بهذا بدأ سباق التسلح النووي، وعلى أثر هذا خشي زيلارد أن يسبق الألمان العالم في صناعة القنبلة الذرية خاصة وهم رواد الفيزياء الذرية، فتوجه ومعه يوجين ويجنر إلى مدينة لونج آيلاند لزيارة أينشتاين وهناك جعلوه يوقع على خطاب للرئيس روزفلت.

اعتبر هذا الخطاب واحدًا من أهم الوثائق في التاريخ ومما جاء في مقدمته: «إن بعض الأبحاث الحديثة التي أجراها إي فيرمي وإل زيلارد والتي

وصلت مخطوطاتها إليّ تجعلني أعتقد أنه من الممكن في المستقبل القريب جدًّا أن يتم تحويل عنصر اليورانيوم إلى مصدر جديد ومهم للطاقة.»[٢٧] وجاء في الخطاب أيضًا تحذير من أن هتلر قد احتل تشيكوسلوفاكيا وسيطر على مناجم المعادن السوداء في بوهيميا التي تعد مصدرًا خصبًا لخام اليورانيوم، وهو ما ينذر بخطر عظيم حيث إن «قنبلة واحدة من هذا النوع يحملها قارب وينفجر بها في ميناء من الموانئ قادرة على تدمير الميناء بأكمله وأجزاء من المنطقة المحيطة به، لكنها على الأرجح ستكون أثقل من أن يتسنى حملها جوًّا.» سُلِّم الخطاب إلى ألكزاندر ساكس مستشار روزفلت كي يوصله إلى الرئيس، وعندما سأل ساكس روزفلت عما إذا كان قد أدرك خطورة ما يحويه هذا الخطاب أجابه روزفلت: «إنه يا آلكس يشير إلى احتمال أن يدمرنا النازيون.» ثم استدار إلى الجنرال إي إم واتسون وقال له: «إن هذا يتطلب تحركًا سريعًا.»[٢٨] وفي ذلك العام رُصدت ستة آلاف دولار فقط لإجراء أبحاث على اليورانيوم، لكن تلك الأبحاث تلقت دفعة قوية في خريف عام ١٩٤١ عندما وصل واشنطن تقرير فريش-بييرلز السري الذي جاء فيه أن بعض العلماء البريطانيين كانوا يجرون أبحاثًا مستقلة توصلوا إلى ذات النتائج التي توقعها أينشتاين، وفي السادس من ديسمبر/كانون الأول من عام ١٩٤١ تم البدء في مشروع مانهاتن الهندسي السري.

تجمع مئات من خيرة علماء العالم في سرية تامة تحت قيادة جيه روبرت أوبنهايمر، الذي سبق له أن أجرى أبحاثًا حول نظرية الثقوب السوداء لأينشتاين، ثم نُقلوا إلى لوس ألاموس الواقعة في صحراء نيومكسيكو. ولم يتردد علماء كبار من أمثال هانز بيته وإنريكو فيرمي وإدوارد تيلر ويوجين ويجنر في القدوم من كبرى جامعات البلاد للمشاركة في هذا المشروع. (لكن لم يكن جميع العلماء مسرورين بهذا الاهتمام المتزايد بالقنبلة الذرية، فقد رفضت ليز مايتنر، التي كانت أبحاثها هي ما أطلقت الشرارة الأولى لهذا المشروع، أن يكون لها أي علاقة بتلك القنبلة. وكانت هي العالمة الوحيدة من معسكر الحلفاء التي رفضت تلبية النداء للاشتراك مع مجموعة لوس ألاموس وقالت بحسم: «لن يكون لي شأن بهذه القنبلة لا من قريب ولا من بعيد.»[٢٩] وبعد هذا بسنوات عندما حاول كتاب هوليوود أن يحتفوا بها

بأن أرادوا تجسيد شخصيتها في فيلم «بداية النهاية» وتصويرها على أنها المرأة التي قامت بعملية شجاعة لتهريب مخططات القنبلة أثناء هروبها من النازيين، ردت عليهم قائلة: «إنني أفضل أن أجول في برودواي عارية على أن أشترك في ذلك الخيال السفيه.»[٣٠]

لاحظ أينشتاين أن جميع زملائه المقربين في برنستون صاروا يختفون فجأة ويتركون عنوانًا غامضًا ليردهم فيه بريدهم في سانتا في بنيومكسيكو، لكن أينشتاين نفسه لم يطلبه أحد للمشاركة في المشروع وظل طيلة فترة الحرب قابعًا في برنستون. عرف السبب في هذا من وثيقة سرية كُشِفَ عن فحواها في وقت لاحق كتب فيها فانفار بوش مستشار روزفلت: «لكم كنت أتمنى أن أضع جميع أوراق المشروع أمامه [يقصد أينشتاين] ... لكن هذا تعذر جدًّا بسبب موقف رجال واشنطن منه بعد أن درسوا تاريخه.»[٣١] فقد خلص رجال مكتب التحقيقات الفيدرالية ومعهم رجال مخابرات الجيش إلى أنه ليس شخصًا يمكن الوثوق به وجاء في تقريرهم: «لا ننصح بالتعامل مع الدكتور أينشتاين حفاظًا على سرية المهمة في ضوء ما عرفناه عن خلفيته الراديكالية، حيث لا يمكن التأكد إلا من خلال تحريات دقيقة من أن رجلًا بمثل هذه الخلفية يمكن أن يتحول إلى أمريكي مخلص في تلك الفترة الوجيزة.»[٣٢] والواضح أن مسئولي مكتب التحقيقات الفيدرالية لم يكونوا يدركون أن أينشتاين كان على علم جيد بالمشروع بل إنه كذلك ساهم في تدشينه.

أظهر ملف أينشتاين السري ذو الـ ١٤٢٧ صفحة لدى مكتب التحقيقات الفيدرالية، الذي أفصح عن فحواه حديثًا، أن إدجار هوفر اتهمه بأنه عميل شيوعي أو نصاب على أقل تقدير. اهتم ذلك المكتب بجمع كل ما يتردد عن أينشتاين من شائعات وإيرادها في ملفه، لكن الغريب أنهم لم يواجهوه باتهاماتهم كما لو كانوا يخشونه واكتفوا بالتحقيق مع كل من يحيطون به ومضايقتهم، ولقد أدى هذا إلى أن صار مكتب التحقيقات الفيدرالية مستودعًا لمئات الخطابات الواردة من بعض المضطربين عقليًّا، ووصل الأمر إلى أنهم أوردوا في ملفه تقريرًا يفيد بأنه عاكف حاليًّا على اختراع أشعة قاتلة. غير أنه في مايو/أيار من عام ١٩٤٣ حدث أن استدعاه ملازم في

البحرية وسأله عما إذا كان يرغب في العمل لحساب البحرية الأمريكية لتطوير أسلحة ومواد شديدة التفجير، جاء في تقرير هذا الملازم البحري: «لقد كان يشعر بكثير من الاستياء لأنه تم تجاهله ولم يطلب أحد مساهمته في المجهود الحربي.»[٣٣] أما أينشتاين الذي كانت دعابته دومًا حاضرة فقد علق على هذا بقوله إنه انضم للبحرية دون أن يضطر لحلاقة رأسه.

كان الدافع وراء سعي الحلفاء المحموم لصناعة القنبلة الذرية هو خوفهم من أن ينجح الألمان في صناعتها قبلهم، لكن الواقع أن نظام التسليح الألماني في ذلك الوقت كان يعاني عجزًا في الأفراد والتمويل. تولى فيرنر هايزنبرج أعظم فيزيائي الكم الألمان قيادة فريق علمي مهمته تصنيع القنبلة الألمانية، لكن أعضاء هذا الفريق أدركوا عام ١٩٤٢ أن إنتاج هذه القنبلة يتطلب مجهودًا شاقًّا يستمر لثلاث سنين إضافية وهو ما دفع ألبرت شبير، وزير الحربية في حكومة النازي، لأن يوقف العمل في هذا المشروع بشكل مؤقت، وهو الإجراء الذي اعتبر خطأ استراتيجيًّا كبيرًا لأن شبير ظن أن ألمانيا لن تحتاج تلك القنبلة بعد ثلاث سنين لأن الحرب ستكون قد انتهت بانتصارها، لكنه مع هذا استمر في تمويل أبحاث تتعلق بالغواصات النووية.

لكن هايزنبرج في ذلك الوقت كانت تشغله مشكلات أخرى غير التمويل، فقد أصدر هتلر قرارًا يقضي بالاستمرار في تصنيع الأسلحة التي تنتظر لها نتائج بعد ستة أشهر فقط والتوقف عن تصنيع غيرها وهو ما كان يعتبر مهلة مستحيلة. ومما زاد الطين بلة أن المعامل الألمانية ظلت تتعرض لهجمات قوات الحلفاء بشكل مستمر، حتى إنه حدث عام ١٩٤٢ أن هاجمت فرقة من قوات الكوماندوز مصنع الماء الثقيل الذي أقامه هايزنبرج في فيمورك بالنرويج. وكان الألمان قد تجاهلوا فكرة فيرمي لإنشاء مفاعل قائم على الكربون وبنوا بدلًا منه مفاعل ماء ثقيل يستخدم اليورانيوم المحايد وهو أكثر وفرة من يورانيوم ٢٣٥. وعام ١٩٤٣ تعرضت برلين لقصف شديد ومتوال من قوات الحلفاء مما دفع هايزنبرج لأن ينقل معمله من مكانه، ونُقل معهد القيصر فيلهلم للفيزياء إلى تلال هتشنجن الواقعة جنوب شتوتجارت، واضطر هايزنبرج لأن يبني المفاعل الألماني في سفح

جبل قرب هيجرلوك، لكنه تحت هذا القصف المتواصل لم يتمكن أبدًا من أن يستكمل أي تفاعل تسلسلي.

في تلك الآونة كان فريق مشروع مانهاتن يضخون كميات من البلوتونيوم واليورانيوم قادرة على إنتاج أربع قنابل ذرية، وحسبوا الوقت المحدد لإطلاق القنبلة الأولى في آلاموجوردو بنيومكسيكو. ثم فُجِّرت القنبلة الأولى التي اعتمدت على البلوتونيوم-٢٣٩ في يوليو/تموز من عام ١٩٤٥. وبعد الانتصار الحاسم الذي حققه الحلفاء على النازيين رأى كثير من الفيزيائيين أن استخدام القنبلة الذرية ضد اليابان التي كانت العدو الوحيد الباقي ليس ضروريًّا على الإطلاق، ورأى فريق آخر أنه يجب تفجير قنبلة على جزيرة غير مأهولة بالسكان على مرأى من المسئولين اليابانيين كي يقتنعوا بأنه لا مفر من الاستسلام. وأرسل آخرون خطابًا للرئيس هاري ترومان يطالبونه بعدم إلقاء القنبلة على اليابان، لكن لسوء الحظ لم يصل هذا الخطاب أبدًا. وقدم جوزيف روتبلات وهو أحد العلماء الذين عملوا في المشروع استقالته مبينًا أن هذا المشروع انتهى وينبغي ألا تستخدم القنبلة الذرية ضد اليابان (فيما بعد نال هذا العالم جائزة نوبل للسلام).

لكن السهم كان قد نفذ واتخذ القرار بإلقاء قنبلتين نوويتين لا قنبلة واحدة على اليابان في أغسطس/آب من عام ١٩٤٥. كان أينشتاين وقتها يقضي عطلته في بحيرة سارناك بنيويورك. تروي هيلين دوكاس سكرتيرة أينشتاين عن تلك اللحظة قائلة: «سمعت عبر المذياع خبرًا يقول إن قنبلة من نوع جديد قد ألقيت على اليابان، وأدركت على الفور ماهية هذه القنبلة لأنني كنت على معرفة ما باكتشاف زيلارد … وحينما حضر البروفيسور أينشتاين في وقت تناول الشاي أخبرته ما حدث فقال: يا إلهي.»[٣٤]

وعام ١٩٤٦ ظهرت صورة أينشتاين على غلاف مجلة تايم وكان السبب في هذا ما أنذر به من أن كارثة نووية توشك على الوقوع،[٣٥] وأدرك العالم فجأة أن الحرب العالمية القادمة التي ستكون الحرب الثالثة من نوعها ستكون أسلحتها ذرية. لكن أينشتاين علق على هذا قائلًا إن الحرب العالمية الرابعة ستستخدم فيها الحجارة لأن الحرب الثالثة ستعيد البشرية آلاف السنين إلى الوراء. وفي ذات العام عين أينشتاين رئيسًا للجنة الطارئة

لعلماء الذرة، وهي أولى المنظمات المناهضة للحروب النووية وأكبرها. استغل أينشتاين موقعه هذا للتنديد بتصنيع المزيد من الأسلحة النووية والمناداة بالقضية التي طالما حلم بها وهي الحكومة العالمية.

لكن في خضم تلك العاصفة التي أطلقتها تلك القنابل النووية والهيدروجينية حرص أينشتاين على أن يحافظ على سلامه النفسي من خلال إصراره على العودة إلى الفيزياء. استمرت الأبحاث الفيزيائية الرائدة خلال فترة أربعينيات القرن العشرين في مجالات ساهم أينشتاين في إيجادها مثل علم الكون ونظرية المجالات الموحدة. وبعد أن انتهت الحرب قام بمحاولته الأخيرة لـ«قراءة أفكار الرب».

عقب انتهاء الحرب استمرت المراسلات بين أينشتاين وشرودنجر عبر الأطلسي، وكان هذان الأبوان المؤسسان لنظرية الكم هما الوحيدان اللذان ظلا يقاومان مد ميكانيكا الكم ويركزان جهودهما على فكرة التوحيد، وعام ١٩٤٦ كتب شرودنجر لأينشتاين: «إنك بصدد لعبة خطرة، فأنت كمن يصطاد الأسود في حين أتعامل أنا هنا مع الأرانب.»[٣٦] لكن شرودنجر، بتشجيع من أينشتاين، استأنف بحثه المحموم عن نمط خاص لنظرية المجالات الموحدة يسمى: «نظرية المجالات الأفينية»، ولم يستغرق وقتًا طويلًا حتى انتهى من تلك النظرية وظن أنه حقق ما فشل فيه أينشتاين بأن وحد الضوء والجاذبية في نظرية واحدة، وقال إن هذه النظرية: «معجزة، ومنحة إلهية لم تكن متوقعة أبدًا.»

كان شرودنجر يشعر بأنه منعزل في أيرلندا عن الوسط الفيزيائي ويراه الناس مدير كلية كان ذات يوم علمًا من أعلام الفيزياء، لكنه بعد أن خرج بتلك النظرية تحمس لها جدًّا واعتقد أنها سوف تأتيه بجائزة نوبل ثانية، فلم يتمهل وعقد مؤتمرًا صحفيًّا واسعًا دعا إليه إيمون دي فاليرا رئيس الوزراء الأيرلندي وآخرين كي يستمعوا إلى ما لديه، وفي المؤتمر سأله أحد الصحفيين عن مدى ثقته بنظريته تلك فرد عليه: «إنني مؤمن بأنني على حق، بل إنني لو كنت مخطئًا فإنني أحمق كبير.»[٣٧] لكن أينشتاين أدرك على الفور أن تلك النظرية نفسها قد نبذت قبل هذا بسنين، وهكذا ثبت فشل تلك النظرية الجديدة وهو ما دفع العالم الفيزيائي فريمان دايسون

لأن يقول: «إن الطريق إلى نظرية المجالات الموحدة مفروش بجثث المحاولات الفاشلة.»

لكن هذا لم يثن أينشتاين عن مواصلة البحث عن نظرية المجالات الموحدة بمعزل عن الوسط الفيزيائي بأكمله. لم يجد أينشتاين مبدءًا فيزيائيًّا يهتدي به لتحقيق هدفه فحاول أن يجد الجمال والتناسق في معادلاته لأنهما المعياران الأساسيان لصحة النظريات، وكما قال العالم الرياضي جي إتش هاردي: «لا بد أن الأنماط الرياضية التي يستخدمها الرسامون والشعراء هي أنماط في غاية الجمال، إذ لا بد أن تتناغم الأفكار الرياضية كما تتناغم الألوان والكلمات لأن الجمال هو المعيار الأول للصحة ولا مكان للقبح في الرياضيات.»[٣٨] أخذ أينشتاين يبحث عن مبدأ يهديه مثل مبدأ التكافؤ دون جدوى. كان دائمًا يأسى لأن باقي الفيزيائيين لا يرون العالم كما يراه هو لكن هذا لم يكن يشغله كثيرًا في السابق، أما الآن فقد صار هذا يضايقه للغاية وكتب عن هذا: «لقد صرت رجلًا عجوزًا وحيدًا يراه الناس ظاهرة غريبة لأنه لا يرتدي جوارب في قدميه. لكنني في مجال عملي صرت أكثر تعصبًا مما مضى ودائمًا يحدوني الأمل لحل معضلتي القديمة المتمثلة في إيجاد نظرية توحد المجالات الفيزيائية، وأشعر كما لو كنت في طائرة تحلق فوق السحب لكنها لا تستطيع العودة إلى الواقع، إلى الأرض.»[٣٩]

غير أن أينشتاين أدرك أنه بانشغاله في نظرية المجالات الموحدة وهجره لنظرية الكم يقصي نفسه عن المجال البحثي الأهم في المعهد الذي يعمل به كما قال: «لا بد أنني أبدو كالنعامة أدفن رأسي في النسبية حتى لا أواجه شرور نظرية الكم.»[٤٠] وبدأ الفيزيائيون الآخرون يتهامسون فيما بينهم قائلين إنه صار متخلفًا عن عصره يعيش في الماضي، لكن هذا لم يضايقه كما جاء في قوله: «لقد صار الناس يظنونني كيانًا متحجرًا أصابته الشيخوخة بالعمى والصمم، وإنني لا أرى هذا أمرًا سيئًا بل إنه يتناسب مع مزاجي الحالي.»[٤١]

وعام ١٩٤٩ في ذكرى مولد أينشتاين السبعين أقيم احتفال كبير في المعهد تكريمًا له حضره لفيف من علماء الفيزياء أتوا ليكيلوا المديح لأعظم علماء زمانهم، وكي يساهموا بمقالات عنه لتنشر في كتاب معد لتكريمه، لكن

ما بدا من لهجة المتحدثين وحواراتهم مع الصحفيين كان انتقادًا واضحًا لموقف أينشتاين من نظرية الكم، وهو الأمر الذي لم يعجب أنصاره، لكن أينشتاين نفسه لم يعترض وقابل الأمر بروح رياضية، ذكر أحد أصدقاء عائلة أينشتاين ويدعى توماس باكي أن: «أوبنهايمر سخر من أينشتاين في مقال نشر في إحدى المجلات بعبارات من قبيل: إنه «رجل عجوز»، و«لم يعد أحد اليوم يصغي إليه»، وقد جعلنا هذا المقال في قمة الغضب لكن أينشتاين نفسه لم يغضب على الإطلاق، بل لم يصدق ما جاء فيه. وفي وقت لاحق نفى أوبنهايمر أن يكون قد قال هذا.»[٤٢]

كان هذا هو ديدن أينشتاين في تجاهله لمنتقديه حتى إنه حين صدر الكتاب الذي أعد لتكريمه قال عنه متهكمًا: «إنه ليس كتابًا تذكاريًّا بل عريضة اتهام.»[٤٣] كانت حكمة أينشتاين تجعله يدرك أن الأفكار الجديدة لا بد أن تحارب كي تلقى قبولًا من الناس، وأدرك أيضًا أنه لم يعد قادرًا على الإنتاج الفكري كما كان في شبابه وهو ما عبر عنه بقوله: «إن المرء لا يأتي بأي شيء جديد إلا في شبابه لأنه عندما يتقدم في السن يصير أكثر خبرة وأكثر شهرة وحماقة.»[٤٤]

لكن ما دفعه للاستمرار هو ما وجده من دلائل كثيرة تشير إلى أن التوحيد واحد من أهم القوانين الكونية، وعن هذا كتب: «ترينا الطبيعة ذيل الأسد فحسب، لكني لا أشك في انتمائه إليه على الرغم من أنه لا يُظهر نفسه كاملًا بسبب ضخامة حجمه.»[٤٥] وفي كل صباح كان أينشتاين يسأل نفسه حين يستيقظ سؤالًا بسيطًا: إذا كنت الرب فبأي طريقة ستخلق الكون؟ بل إنه حينما تفكر في القوانين الكونية الملزمة سأل نفسه سؤالًا آخر وهو: هل تسنى للرب اختيار تلك الطريقة؟ وكلما تأمل في الكون رأى الدلائل على أن التوحيد هو القانون الطبيعي الأعظم، وأنه لا يمكن أن يكون الرب قد خلق كونًا به كيانات مثل الجاذبية والكهرباء والمغناطيسية منفصلة بعضها عن بعض، وكان يوقن أن ما ينقصه هو مبدأ مرشد أو صورة فيزيائية تهديه الطريق إلى نظرية المجالات الموحدة، لكنها لم تأته أبدًا.

عندما اكتشف أينشتاين النسبية الخاصة تخيل نفسه وهو ابن ستة عشر ربيعًا يعدو بجانب شعاع ضوء، وعندما اكتشف النسبية العامة راودته

صورته وهو يميل بكرسيه إلى الخلف حتى يكاد يسقط، وصورة أخرى لبلي يتدحرج على سطح منحني، لكنه في نظرية المجالات الموحدة لم يجد أي صورة من هذا النوع ترشده. كانت هناك عبارة يشتهر أينشتاين بها وهي: «إن الرب ذكي لكنه ليس ماكرًا.»[٤٦] لكنه بعد أن قضى عقودًا يصارع فكرة نظرية المجالات الموحدة دون جدوى قال لمساعده: «لقد غيرت رأيي، فعلى ما يبدو أن الرب ماكر.»[٤٧]

مع أن البحث عن نظرية المجالات الموحدة اعتبر أصعب مشكلة واجهت علم الفيزياء فإنه كان له سحر من نوع خاص أغرى كثيرًا من الفيزيائيين بخوض غماره، بل إن فولفجانج باولي — الذي كان أشد منتقدي تلك النظرية — انتقلت له تلك العدوى في النهاية وانشغل في أواخر خمسينيات القرن العشرين، ومعه هايزنبرج، في محاولة الخروج بنظرية مجالات موحدة جديدة زعموا قدرتها على حل المشكلات التي واجهت أينشتاين لنحو ثلاثين سنة. وعن هذا كتب بايس: «انشغل هايزنبرج منذ عام ١٩٥٤ وحتى وفاته (عام ١٩٧٦) في محاولة استخلاص جميع قوانين فيزياء الجسيمات من معادلة موجية لا خطية واحدة.» وعام ١٩٥٨ زار باولي جامعة كولومبيا وألقى بها محاضرة شرح فيها نظرية باولي-هايزنبرج الجديدة للمجالات الموحدة.[٤٨] غني عن القول أن الحضور تشككوا فيها حتى إن نيلز بور الذي كان حاضرًا نهض وقال له: «إننا جميعًا متفقون على أن هذه نظرية مجنونة، لكننا مختلفون حول مدى جنونها.»[٤٩]

علق الفيزيائي جيريمي بيرنشتاين على هذا الجدال بين العالمين قائلًا: «كان هذا أشبه بلقاء السحاب بين عملاقين من عمالقة الفيزياء الحديثة، ولم أدر هل غير الفيزيائيين سيفهمون ما يقولان.»[٥٠] لكن باولي أدرك في النهاية أن نظريته يعتريها أخطاء كثيرة، أما مساعدوه فقد أصروا على الاستمرار في الترويج لنظريتهم غير عابئين برأيه، فكتب باولي لهايزنبرج خطابًا أرفق به ورقة بيضاء وقال له لو كانت تلك النظرية بالفعل صحيحة فإن هذه الورقة البيضاء لوحة من لوحات الرسام العالمي تيتيان.

ومع أن التقدم في نظرية المجالات الموحدة كان بطيئًا وشاقًّا فإنه حدثت فتوح علمية كثيرة في مجال الفيزياء أبقت على أينشتاين منشغلًا، وكان من بين أكثرها غرابة آلات الزمن.

رأى نيوتن أن الزمن كالسهم المنطلق ما إن يخرج من قوسه حتى يسير في خط مستقيم لا يحيد عنه أبدًا، والزمن مفهوم مطلق وموحد يسير بنفس السرعة في جميع أرجاء الكون؛ فالثانية على الأرض هي بذات طول الثانية في الفضاء الخارجي، والأحداث أيضًا يمكن أن تقع بشكل متوازٍ في الكون. لكن أينشتاين عارض هذه الأفكار وأتى بمفهوم الزمن النسبي الذي ينص على أن الثانية على الأرض تختلف عنها على القمر؛ فالزمن يشبه نهرًا متعرجًا يشق طريقه بين الكواكب والنجوم ويبطئ حين يمر بجوار الأجرام السماوية، من هذه الفكرة برز سؤال طرحه العالم الرياضي كيرت جوديل عما إذا كان من الممكن أن تظهر دوامات في هذا النهر تدفعه لأن يرتد في عكس اتجاهه، أو تجعله يتفرع إلى نهرين خالقًا عالمًا موازيًا، كان جوديل زميلًا لأينشتاين في ذات المعهد، وكان البعض يرونه أعظم علماء المنطق الرياضي في القرن العشرين، وعام ١٩٤٩ أثبت أن معادلات أينشتاين تعني أن السفر عبر الزمن ممكن وهو ما جعل أينشتاين مضطرًّا لأن يجيب على هذا السؤال؛ افترض جوديل وجود كون مملوء بالغاز وآخذ في الدوران، إذا انطلق أحدهم بسفينة صاروخية في مدار حول كون بأكمله فإنه يستطيع أن يصل إلى نقطة انطلاقه حتى قبل أن ينطلق. بعبارة أخرى نقول إن السفر عبر الزمن ظاهرة طبيعية في الكون الذي افترضه جوديل حيث يستطيع المرء العودة في الزمن بشكل منتظم خلال دورانه حول الكون.

كان مما أصاب أينشتاين بارتباك شديد أنه كلما حاول الناس إيجاد حلول لمعادلاته توافقت مع فكرة السفر عبر الزمن؛ فظواهر مثل الحضيض الشمسي والانزياح الأحمر وانحناء ضوء النجوم وجاذبية النجوم كلها تتوافق مع تلك الفكرة أشد ما يكون التوافق، لكن هذه المعادلات في الوقت نفسه تناقض كل ما نعرفه عن الزمن، فلو كان السفر عبر الزمن ممكنًا لما أمكن كتابة التاريخ؛ فالزمن الماضي يشبه الرمال المتحركة يمكن أن يتغير إذا أتاه أحد عن طريق آلة الزمن. بل إن الأنكى من هذا أن هذا التناقض يمكن أن يعني نهاية العالم، فمن الممكن بمقتضاه أن يسافر أحدهم إلى الزمن الماضي ويقتل أبويه قبل أن ينجباه، وهو الأمر الذي يحوي مشكلة منطقية كبيرة؛ إذ كيف ولد هو من الأساس إذا كان أبواه ماتا قبل أن ينجباه؟!

كانت فكرة آلات الزمن تخرق قانون السببية الذي هو من أهم القوانين التي تعتمدها الفيزياء، ومخالفة السببية هي ذاتها التي جعلت أينشتاين يرفض نظرية الكم التي استبدلت بها الاحتمالية. والآن يحاول جوديل أن يبطل مبدأ السببية على إطلاقه، لكن أينشتاين بعد تدبر ممعن للأمر رفض حل جوديل معللًا هذا بأنه لا يتوافق مع الحقائق الملاحظة التي تنص على أن الكون لا يدور وإنما يتمدد، وهو ما يعني أن السفر عبر الزمن غير ممكن، أو على الأقل استنادًا إلى البيانات المتاحة في الوقت الحاضر. لكن قول أينشتاين هذا لم ينف احتمالية دوران الكون بدلًا من تمدده، وهو ما سيجعل السفر عبر الزمن أمرًا معتادًا، لكن الأمر سيستغرق نحو خمسين سنة قبل أن يعود مفهوم السفر عبر الزمن إلى الظهور مرة أخرى ويصير هدفًا لبحث ميداني كبير.

مثلت فترة أربعينيات القرن العشرين فترة مضطربة في مجال العلوم الكونية. وكان جورج جامو الذي كان الوسيط بين أينشتاين والبحرية الأمريكية غير مهتم بتصنيع المتفجرات قدر اهتمامه بالانفجار الأعظم على الإطلاق: الانفجار الكبير. أخذ جامو يفكر في بعض المسائل التي استنتجها من نظرية الانفجار الكبير التي من الممكن أن تقلب علم الكون رأسًا على عقب، وخمن أنه إذا كان الكون قد وُلد بانفجار ناري فمن الممكن تتبع آثار الحرارة المتخلفة عن ذلك الانفجار، أي أنه لا بد أن يكون هناك «صدى لخلق الكون» باق منذ حدوث الانفجار الكبير. اعتمد جامو على أبحاث بولتزمان وبلانك اللذين أكدا وجود علاقة ارتباط بين حرارة الجسم ولونه بما أن كليهما شكلان مختلفان من أشكال الطاقة؛ فمثلًا إذا كان لون الجسم أحمر فهذا يعني أن درجة حرارته ثلاثة آلاف درجة مئوية تقريبًا، أما إذا كان الجسم أصفر (كما هو لون الشمس) فإن حرارته تقدر تقريبيًّا بستة آلاف درجة مئوية (وهي درجة حرارة سطح الشمس فقط). وبالمثل يمكننا أن نتوصل إلى العلاقة بين دفء أجسادنا ولونها وهو ما يرتبط بما ينبعث منها من الأشعة تحت الحمراء. (وهذه هي الفكرة التي تعمل وفقها مناظير الجيش الليلية فهي ترصد انبعاث الأشعة تحت الحمراء من أجسادنا الدافئة.) وافترض اثنان من أفراد فريق جامو هما روبرت هرمان

ورالف ألفر أنه إذا كان الانفجار الكبير قد حدث منذ مليارات السنين فإن الحرارة المتخلفة تقدر بخمس درجات فوق الصفر المطلق، وهو التقدير الذي كان قريبًا جدًّا من القيمة الحقيقية التي هي قيمة إشعاع الموجة الصغرى مما يعني أن «لون الكون وقت خلقه» هو إشعاع الموجة الصغرى. (تم اكتشاف إشعاع الموجة الصغرى بعد مرور عشرات السنين على أبحاث جامو وقدر بدرجتين وسبع من عشرة فوق الصفر المطلق. وقد كان من شأن هذا الاكتشاف أن أحدث ثورة في مجال علم الكون.)

مع أن أينشتاين كان منعزلًا قليلًا في برنستون فإنه عاش حتى رأى نسبيته العامة تفتح آفاقًا جديدة ومجالات خصبة للبحث في علم الكون، والثقوب السوداء وموجات الجاذبية ومجالات أخرى عديدة، غير أن آخر سنوات حياته سيطر عليها الحزن؛ ففي عام ١٩٤٨ تلقى خبر موت ميليفا بعد أن ظلت لوقت طويل تقاسي متاعب العناية بابنهما المريض عقليًّا وكان سبب وفاتها سكتة دماغية أصابتها أثناء تعرض ابنها إدوارد لنوبة غضب. (فيما بعد عثر على خمسة وثمانين ألف فرانك مخبأة في فراشها وتبين أنها آخر ما تبقى من النقود التي كانت تحصلها من شقق زيورخ وكانت توفي بها الاحتياجات الطبية المزمنة لابنها المريض.) ثم توفيت أخته مايا الحبيبة إلى قلبه عام ١٩٥١.

وعام ١٩٥٢ مات حاييم فايتزمان الذي رتب زيارته المظفرة إلى الولايات المتحدة عام ١٩٢١ وجاءت وفاته بعد أن تولى منصب الرئيس الإسرائيلي. ودون توقع منه جاءه عرض مفاجئ من رئيس الوزراء الإسرائيلي ديفيد بن جوريون يعرض عليه أن يتولى منصب الرئيس الذي خلا بموت فايتزمان، لكنه اضطر لأن يرفض ذلك المنصب برغم ما فيه من تشريف.

وعام ١٩٥٥ تلقى خبر موت ميكيلي بيسو الذي كان قد ساعده في تنقيح النسبية الخاصة، فكتب خطابًا مؤثرًا إلى ابنه جاء فيه: «إن أكثر ما أثار إعجابي في ميكيلي هو أنه استطاع أن يعيش لسنوات طويلة مع امرأة واحدة في سلام وفي توحد دائم معها وهو الأمر الذي فشلت في تحقيقه مرتين ... ولهذا فإنه بتركه هذا العالم قد سبقني مرة أخرى بخطوة. إن من يؤمنون بالفيزياء مثلي ومثله لا يرون الفراق منطقيًّا، ففي الفيزياء لا ينفصل الماضي والحاضر والمستقبل عن بعض بل هم وحدة متماسكة.»[٥١]

وفي ذات العام تدهورت صحته كثيرًا حتى إنه قال: «إن إطالة الحياة بطرق صناعية لأمر ممل، إنني قد أديت دوري في الحياة وآن أوان الرحيل. وخير لي أن أرحل بهدوء.»[٥٢] توفي أينشتاين في الثامن من أبريل/نيسان من عام ١٩٥٥ بانفجار مخي. وعقب وفاته نشر رسام الكاريكاتير هربلوك رسمًا في صحيفة واشنطن بوست تظهر صورة للأرض من الفضاء الخارجي تبرز منها لافتة عملاقة كتب عليها: «هنا عاش ألبرت أينشتاين.» وفي ليلة الوفاة تناقلت صحف في جميع أنحاء العالم صورة لمكتب أينشتاين وعليه مخطوطة لأعظم نظرياته التي لم تتم، نظرية المجالات الموحدة.

الفصل التاسع

نبوءات أينشتاين

معظم من أرخوا لسيرة أينشتاين تجاهلوا الثلاثين عامًا الأخيرة من حياته لأنهم اعتبروها فترة محرجة لا تليق بعبقري مثله، بل هي وصمة في تاريخه العلمي الناصع، غير أن التقدم العلمي الذي حدث في العقود القليلة الأخيرة جعلنا ننظر نظرة مختلفة تمامًا للتركة التي خلفها لنا أينشتاين. ولأن أبحاث أينشتاين غيرت وجه المعرفة الإنسانية تمامًا فقد استمر صدى هذه الأبحاث يتردد فترة طويلة في الأوساط الفيزيائية، وبدأت كثير من البذور التي غرسها أينشتاين قديمًا تنمو في القرن الحادي والعشرين، وهذا مرده في الأساس إلى أن ما صرنا نملك الآن من أدوات كالتلسكوبات الفضائية، وأشعة الليزر، ومراصد الفضاء التي تعمل بالأشعة السينية؛ قادرة على تأكيد عدد كبير من نبوءاته التي بشر بها منذ عشرات السنين.

بل إن العلماء اليوم لا يزالون يقتاتون على فتات مائدة أينشتاين ويحصدون بها جوائز نوبل. والأكثر من هذا أنه بظهور نظرية الأوتار الفائقة صار مفهوم التوحيد — الذي طالما جلب على أينشتاين سخرية واستخفافًا — يحتل مركز الصدارة في الفيزياء النظرية. في هذا الفصل نناقش ما طرأ من تقدم في ثلاث مجالات لا يزال تراث أينشتاين مهيمنًا فيها على عالم الفيزياء وهي: نظرية الكم، والنسبية العامة وأثرها على النظام الكوني، ونظرية المجال الموحد.

حينما أعد أينشتاين بحثه عن مكثف بوس-أينشتاين عام ١٩٢٤ لم يكن يصدق أنه يمكن أن تكتشف تلك الظاهرة الغريبة في الغد القريب لأنها

تتطلب تبريد المادة لدرجة تقترب من الصفر المطلق حتى تتحول الحالات الكمية جميعها إلى ذرة فائقة عملاقة.

عام ١٩٩٥ تمكن إريك إيه كورنيل الباحث بالمعهد القومي للمعايير والتكنولوجيا، ومعه كارل إي وايمان الباحث بجامعة كولورادو من إنتاج مكثف بوس-أينشتاين خالص لألفي ذرة روبيديوم عند درجة حرارة ٢ × ١٠^-٨ فوق الصفر المطلق. وأنتج فولفجانج كيترلي الباحث بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا هذه المكثفات ذاتها بعدد من ذرات الصوديوم يكفي لإجراء التجارب المهمة عليها، كإثبات أن أنماط تداخل هذه الذرات تتفق مع أنماط تداخل الذرات المرتبطة بروابط تناسقية؛ أي أنها تسلك سلوك الذرة الفائقة التي تنبأ بها أينشتاين منذ سبعين سنة.

ومنذ الإعلان عن هذا الكشف الجديد لأول مرة توالت الاكتشافات في هذا المجال بسرعة كبيرة؛ فعام ١٩٩٧ صنع كيترلي وزملاؤه في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا أول «ليزر ذري» في العالم باستخدام مكثفات بوس-أينشتاين. إن ما يكسب ضوء الليزر خواصه الفريدة هو أن الفوتونات تسير فيه بتناغم وانتظام بعضها مع بعض، في حين تسير في أشعة الضوء العادية بفوضى واضطراب. ولما كان للمادة هي الأخرى خصائص موجية فقد افترض الفيزيائيون أنه يمكن جعل أشعة من الذرات تنتظم كما تنتظم أشعة الليزر، ولم يعقهم عن التقدم في هذا الاتجاه إلا عدم وجود مكثفات بوس-أينشتاين. وحقق هؤلاء الفيزيائيون المعجزة عن طريق تبريد مجموعة من الذرات حتى تكثفت، ثم سلطوا عليها شعاع ليزر جعلها تنتظم في حزمة متناسقة.

وعام ٢٠٠١ مُنح كورنيل ووايمان وكيترلي جائزة نوبل في الفيزياء، وفي حيثيات منح الجائزة كتبت لجنة نوبل أنهم منحوها: «لتوصلهم إلى تخليق مكثف بوس-أينشتاين في الغازات المخففة لذرات الفلزات القلوية، ولدراساتهم الرائدة حول خصائص المكثفات.» واليوم بدأنا ندرك التطبيقات العملية لمكثفات بوس-أينشتاين، فالمرجح أن أشعة الليزر الذرية تلك سوف يكون لها قيمة كبيرة في المستقبل عندما تطبق على تكنولوجيا النانو، فقد تسمح بالتعامل مع الذرات المنفردة، وتخليق طبقات ذرية رقيقة لاستخدامها في أشباه الموصلات في أجهزة الحاسب الآلي في المستقبل.

وبخلاف هذا تنبأ بعض الفيزيائيين بأننا سنتمكن في المستقبل من إنتاج أجهزة حاسب آلي كمية (وهي أجهزة تحسب الذرات منفردة) تصنع من مكثفات بوس-أينشتاين، ويمكن أن تستبدل بها الأجهزة الحالية المصنعة من دوائر السيليكون، بل إن بعضهم قال إن المادة السوداء قد تكون مؤلفة من مكثفات بوس-أينشتاين، وإذا صح هذا فإنه يعني أن تلك الحالة المادية الغريبة تكوّن معظم الكون.

ساهمت أفكار أينشتاين المتعلقة بنظرية الكم في أن جعلت فيزيائيي الكم يعيدون النظر في تفسير مدرسة كوبنهاجن لها وهو التفسير الذي كانوا هم من أنصاره؛ ففي الماضي إبان عقدي الثلاثينيات والأربعينيات من القرن العشرين كان أتباع تلك المدرسة قادرين على السخرية من أينشتاين وتجاهل أفكاره تمامًا لأنه في كل يوم تقريبًا كانت تظهر اكتشافات جديدة تؤكد نظريتهم، ولم يشغل أي من الفيزيائيين وقته في تأمل أسس نظرية الكم لأنهم كانوا مشغولين في حصد جوائز نوبل التي صارت تقتطف كما يقتطف التفاح من فوق الشجر. وانشغلوا كذلك في مئات التطبيقات الأخرى على هذه النظرية والمتعلقة بخصائص المعادن والموصلات أحادية الاتجاه والسوائل والبلورات وتطبيقات أخرى من شأن كل منها أن يقيم صناعة جديدة مستقلة بذاتها. ولهذا فقد اعتاد الفيزيائيون على اتباع مذهب كوبنهاجن تلقائيًا والتغاضي عن جميع الأسئلة الفلسفية العميقة التي لم تجب عنها النظرية وتناسوا جدال بور-أينشتاين الشهير. أما اليوم فقد ظهرت إجابات للكثير من الأسئلة «السهلة» المتعلقة بالمادة في حين ظلت الأسئلة الأكثر صعوبة بدون إجابة. بل إنه عُقدت مؤتمرات دولية كثيرة لمحاولة إيجاد حل لمشكلة قطة شرودنجر التي أشرنا إليها في الفصل السابع، لأنها لم تعد مشكلة أكاديمية فقط بعد أن صار بمقدور الفيزيائيين التجريبيين أن يتحكموا في الذرات المفردة، وبالتالي صار مستقبل تكنولوجيا الحاسب الآلي الذي يقوم عليه قسم كبير من ثروة العالم يعتمد على حل تلك المشكلة لأن الحواسب الآلية ستصنع في المستقبل من ترانزستورات مكونة من ذرات منفردة.

واليوم صار حل مدرسة كوبنهاجن لهذه النظرية هو الأبعد والأقل قبولًا بين جميع الحلول الأخرى برغم أنه لم يتوفر بعد دليل تجريبي

يحيد عن تفسير بور الأساسي، تفترض مدرسة كوبنهاجن أن هناك «جدارًا» يفصل العالم المنطقي المحسوس الذي نراه حولنا يمتلئ بالأشجار والجبال والبشر عن العالم اللامنطقي الغامض الذي لا يرى بالعين المجردة والمكون من وحدات الكم والموجات، وفي ذلك العالم الأخير توجد الجسيمات في حالة سفلية بين الوجود والعدم. لكننا نعيش على الجانب الآخر من الجدار حيث انخسفت جميع وظائف الموجات فصار عالمنا المرئي محدودًا وواضحًا، بعبارة أخرى نقول إن هناك جدارًا يفصل المُراقِب عما يُراقِب.

لكن بعض الفيزيائيين من أمثال يوجين ويجنر الحاصل على جائزة نوبل لم يتوقفوا عند هذا الحد فقد أكد ويجنر أن العنصر الأساسي للمراقبة هو الإدراك، فمراقبة القطة تستلزم مراقبًا مدركًا، لكن السؤال هنا هو من يراقب هذا المراقِب؟ فلا بد أن يكون للمراقِب شخص آخر يراقبه (يسمى صديق ويجنر) كي يتأكد من أن المراقِب على قيد الحياة، لكن هذا يعني أننا نحتاج سلسلة غير محدودة من المراقبين كل منهم يراقب الآخر كي يتأكد من أنه حي وفي حالة جيدة. رأى ويجنر أن هذا يعني وجود إدراك كوني يحدد طبيعة الكون نفسه وقال عن هذا: «إن دراسة العالم الخارجي أفضت إلى نتيجة تفيد بأن الإدراك ينطوي على الحقيقة المطلقة.»[1] رأى البعض أن هذه الحقيقة تثبت وجود الرب لأنه هو الذي يدرك الكون، أو أنها تثبت أن الكون في حد ذاته يدرك نفسه، وكما قال بلانك سابقًا: «إن العلم لا يستطيع حل لغز الطبيعة المطلق لأننا نحن جزء من ذلك اللغز الذي نحاول حله.»[2]

وعلى مر السنين ظهرت رؤى مختلفة لهذه المسألة، فعام ١٩٥٧ تقدم هيو إفريت، وكان وقتها طالب دراسات عليا يتتلمذ على يد جون ويلر، بحل لمشكلة القطة اعتبر الأكثر راديكالية بين جميع الحلول الأخرى وتمثل في نظرية «العوالم المتعددة» التي تنص على أن جميع الأكوان الممكنة توجد متوازية بعضها مع بعض، وفي إطار هذه النظرية تكون القطة حية وميتة في نفس الوقت لأن الكون نفسه انقسم إلى كونين. لكن هذه الفكرة تنطوي على دلالات مثيرة للبلبلة لأنها تعني أن الكون يتشعب في كل لحظة كمية منتجًا عددًا لا محدودًا من الأكوان الكمية. في البداية تحمس ويلر لذلك

الحل الذي أتى به تلميذه لكنه نبذه في النهاية لأنه رآه يحمل الكثير من «الميتافيزيقا» على حد قوله. للتوضيح دعنا نتخيل أن شعاعًا كونيًّا اخترق رحم أم وينستون تشرتشل فجعلها تسقطه جنينًا. فهذا يعني أن حدثًا كونيًّا فصلنا عن كون آخر لم يعش به تشرشل كي يعبئ إنجلترا وحلفاءها ضد قوات أدولف هتلر الغاشمة، وفي ذاك الكون الموازي يمكن أن يكون النازيون قد انتصروا في الحرب العالمية الثانية واستعبدوا معظم العالم. أو دعنا نتخيل كونًا هبت به رياح شمسية وقامت مدفوعة، بأحداث كمية، بإخراج مذنب أو شهاب عن مساره منذ خمسة وستين مليون عام فلم يضرب شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك ولم يقض على الديناصورات. في ذلك الكون الموازي لن تظهر الحياة البشرية على الأرض وستعج مانهاتن، التي أقطنها، بالديناصورات الهائجة.

جعلت هذه المسألة كثيرًا من العقول تدور وهي تتفكر في جميع الأكوان الممكنة، لكن بعد كثير من الجدل العقيم الذي استمر لعقود طويلة حول تفسيرات متعددة لنظرية الكم توصل جون بيل الفيزيائي بالمعمل النووي في المركز الأوروبي للأبحاث النووية في جنيف بسويسرا إلى فكرة تجربة لها القدرة على إثبات انتقادات أينشتاين للنظرية أو نفيها. مثلت هذه الفكرة اختبارًا حاسمًا مكن بيل — الذي كان مدركًا لأهمية الأسئلة الفلسفية التي طرحها أينشتاين منذ سنين — من وضع إجابات تحل هذه القضية.[٣] (ارتكزت نظرية بيل على إعادة النظر في التغير الذي تنطوي عليه تجربة الـ EPR القديمة وتحليل الارتباط بين الجسيمين المنطلقين في اتجاهين متعارضين.) لكن أول تجربة ناجحة في هذا المجال أجراها ألان أسبكت الباحث بجامعة باريس عام ١٩٨٣ وأثبتت الرأي القائم على ميكانيكا الكم داحضة انتقادات أينشتاين.

لكن إذا كانت انتقادات أينشتاين خاطئة فأي مذاهب الكم المتعددة هو الصحيح؟ يؤمن فيزيائيون كثيرون اليوم أن مذهب أهل كوبنهاجن به قصور شديد؛ ففي وقتنا هذا الذي استطعنا فيه أن نتحكم في الذرة المفردة لا يعتبر حائط بور الفاصل بين العالمين المرئي وغير المرئي فكرة مقبولة، بل إن «الميكروسكوبات النفقية الماسحة» صارت قادرة على أن تغير مكان ذرة

مفردة، وهو ما قاد بعد ذلك إلى اختراع الحاسبات الآلية. وعلاوة على هذا هناك مجال تكنولوجي جديد قام على فكرة التحكم في الذرات وهو مجال النانوتكنولوجي، وصار من الممكن إجراء تجارب كتجربة قطة شرودنجر على ذرة منفردة.

وبرغم كل هذا التقدم الذي حدث لم يخرج أحد بحل مُرْضٍ لمشكلة القطة، وإنما بدأ كثير من الفيزيائيين، من ضمنهم بعض حائزي جائزة نوبل، بعد نحو ثمانين عامًا من اشتباك أينشتاين وبور في مؤتمر سولفاي في الميل إلى فكرة «عدم الترابط» لحل هذه المشكلة. ينص مفهوم عدم الترابط من الناحية المبدئية على أن الوظيفة الموجية للقطة معقدة جدًّا لأنها تحتوي على ما يقرب من ١٠^٢٥ من الذرات وهو ما يعتبر رقمًا فلكيًّا بالفعل. ومن هذا نفهم أن هناك تداخلًا شديدًا بين موجات القطة وهي حية وموجاتها وهي ميتة، وهو ما يعني أن الوظيفتين الموجيتين يمكنهما أن توجدا معًا في نفس الوقت ونفس المكان، لكن دون أن تؤثر إحداهما على الأخرى؛ فهما «غير مرتبطتين» ولا تشعر إحداهما بوجود الأخرى. تنص إحدى التنويعات على هذه النظرية على أن الوظائف الموجية لا «تنكمش» كما ذكر بور بل تنفصل عن بعضها ولا تعود للالتقاء مرة أخرى.

شبه ستيفن واينبرج، الفيزيائي الحاصل على جائزة نوبل، هذا الأمر بالاستماع إلى الراديو؛ فحينما ندير مؤشره يمكن أن نتنقل بين محطات إذاعية كثيرة، وكل محطة غير مرتبطة بالمحطات الأخرى، لأن ترددها مختلف وهو ما يحول دون تداخلها. وفي حين تعج بيوتنا بإشارات لمحطات إذاعية مختلفة توجد بشكل متواز، وكل منها يحمل معلومات مختلفة تمامًا عن الأخرى فإن بعضها لا يتفاعل مع بعض، ولا يمكن ضبط مؤشر جهاز الراديو إلا على محطة واحدة فقط.

قد يرى الناس هذا المبدأ مقبولًا لأنه حل المشكلة دون الحاجة إلى افتراض حدوث انكماش في الوظيفة الموجية، لكن الناظر إليه بإمعان يدرك أنه ينطوي على دلالات منطقية غاية في الغرابة؛ فمنه نصل إلى افتراض وجود أكوان كاملة منفصلة ولا تتفاعل، ومعنى هذا أنك إذ تجلس في غرفة معيشتك تقرأ كتابًا توجد معك وظيفة موجية لعوالم أخرى منها: واحد

انتصر فيه النازيون في الحرب العالمية الثانية، وآخر يتحدث فيه الناس بلغات غريبة، وثالث تتصارع فيه الديناصورات داخل غرفة معيشتك، ورابع تجوب فيه المخلوقات الفضائية الأرض، وخامس لا يوجد كوكب الأرض فيه من الأساس. وإذا استخدمنا تشبيه «الراديو» السابق للتعبير عن هذه الحالة يمكننا أن نقول إن مؤشر الراديو الخاص بك مضبوط على ذلك الكون الذي تعيش فيه، لكن في الوقت نفسه توجد أكوان غريبة ومجنونة في نفس المكان. وما يحول دون تفاعلك مع الديناصورات والوحوش والكائنات الفضائية هو أنك موجود على تردد آخر لا يرتبط بتردد أكوانهم، ولعل ما سبق هو ما حمل ريتشارد فاينمان الحاصل على جائزة نوبل في الفيزياء أن يقول: «إنني أستطيع أن أقول بكل ثقة إنه ليس هناك من يفهم ميكانيكا الكم.»[٤]

كانت انتقادات أينشتاين لنظرية الكم مسئولة عن سرعة تطورها برغم أنها لم تقدم حلولًا مرضية لما تحمل من تناقضات، أما الأفكار التي خرج بها فقد وجدت لها مجالات يمكن أن تطبق فيها، ومن أبرز تلك الأفكار النسبية العامة؛ ففي عصرنا هذا الذي ظهرت فيه الساعات الذرية وأشعة الليزر والحواسيب الفائقة صار العلماء قادرين على إجراء تجارب شديدة الدقة للتثبت من النسبية العامة، وهي التجارب التي كانت تراود أينشتاين في خيالاته دون أن يجد سبيلًا لإجرائها. فعلى سبيل المثال تمكن كل من روبرت في باوند وجي إيه ريبكا الأستاذان بجامعة هارفارد من إثبات نظرية أينشتاين المتعلقة بالانزياح الأحمر إثباتًا معمليًّا عندما وجدا أن الساعة تدق بمعدل مختلف حينما تكون داخل مجال جاذبية؛ أطلق هذان العالمان شعاعًا من عنصر الكوبالت المشع من قبو معمل ليمان في هارفارد وفي اتجاه السقف لمسافة ٧٤ قدمًا واستخدموا آلة قياس على مستوى عالٍ جدًّا من الدقة (وهي آلة تستخدم تأثير موسباور) فتوصلا إلى أن الفوتونات تفقد طاقتها (وهو ما يعني أنها تفقد أيضًا ترددها) كلما ارتفعت في الفضاء. وعام ١٩٧٧ درس العالم الفلكي جيسي جرينشتاين وبعض زملائه معدل دق الساعة في اثني عشر نجمًا من النجوم البيضاء المتقزمة، وكما هو متوقع فقد أثبتوا أن الزمن يبطؤ في مجالات الجاذبية الواسعة.

وأعيدت تجربة الكسوف الشمسي بطرق أكثر تحديدًا أكثر من مرة، وعام ١٩٧٠ نجح الفلكيون في تحديد موقعي نجمين زائفين شديدي البعد أحدهما عن الآخر في 3C 279 و3C 237، وأكدا أن الضوء المنبعث من هذين النجمين الزائفين ينحني بالشكل الذي تنبأت به نظرية أينشتاين بالضبط.

ولقد ساهم اكتشاف الساعات الذرية كذلك في جعل التجارب تجرى بدقة كبيرة؛ فعام ١٩٧١ وُضِعَت بعض الساعات الذرية على متن طائرة نفاثة طارت بها من الشرق إلى الغرب وفي الاتجاه المعاكس، ثم قُورنت تلك الساعات الذرية بساعات أخرى ثابتة في المرصد البحري بواشنطن، ومن خلال تحليل نتائج الساعات الموضوعة على طائرات نفاثة تنطلق بسرعات مختلفة (لكن على نفس الارتفاع) استطاع العلماء التحقق من صحة النسبية الخاصة. ثم حللوا بعد ذلك نتائج الساعات الموضوعة على طائرات تنطلق بنفس السرعة لكن على ارتفاعات مختلفة مما مكنهم من التحقق من النسبية العامة، وفي كلتا الحالتين جاءت النتائج لتثبت نبوءات أينشتاين بنسبة لا تخرج عن نسبة الخطأ التجريبي المسموح به.

كما كان للأقمار الصناعية دور كبير في استحداث وسائل أخرى للتحقق من صحة النسبية العامة؛ فقد قضى قمر هيباركوس[1] الذي أطلقته الوكالة الأوروبية للفضاء عام ١٩٨٩ أربعة أعوام يدرس انحراف ضوء النجوم ناحية الشمس، وكان من بين النجوم التي درسها نجوم يقل سطوعها ١٥٠٠ مرة عن نجوم مجموعة الدب الأكبر. وفي ذلك الفضاء البعيد لا تكون هناك حاجة لانتظار الكسوف، بل يمكن أن تُجرى التجربة في أي وقت، ومن خلال البيانات التي جمعها هذا القمر الصناعي وجد العلماء أن ضوء النجوم ينحني بالضبط وفقًا لنظرية أينشتاين، بل إنهم وجدوا تأثير الشمس يحني حتى ضوء النجوم التي تبعد عنها مسافة هائلة.

وفي القرن الحادي والعشرين أجريت تجارب عديدة أخرى بهدف اختبار مدى دقة النظرية النسبية العامة، كان من بينها تجارب على نجوم مزدوجة وأخرى تتضمن إطلاق أشعة ليزر نحو القمر ثم جعلها ترتد عنه

[1] كلمة هيباركوس Hipparcos هي اختصار لعبارة High Precision Parallax Collecting Satellite التي تعني: «القمر الصناعي المستخدم في التقاط صور لجسم واحد من زوايا مختلفة بدقة عالية» (المترجم).

عائدة إلى الأرض. غير أن أكثر هذه التجارب أهمية كانت تتعلق بموجات الجاذبية؛ كان أينشتاين قد تنبأ بوجود موجات الجاذبية عام ١٩١٦، لكنه يئس من أن يتم إثبات تلك الظاهرة الغامضة خلال حياته، لأن المعدات المعملية في ذلك الوقت من بداية عشرينيات القرن العشرين كانت بدائية جدًّا، لكن عام ١٩٩٣ حصل العالمان الفيزيائيان راسل هالس وجوزيف تيلور على جائزة نوبل لأنهما استطاعا أن يثبتا بشكل غير مباشر وجود موجات الجاذبية بعد أن درسا نجومًا مزدوجة يدور كل منها حول الآخر.

درس هذان العالمان النجم PSR 1913+16 وهو نجم نيوتروني مزدوج يبعد عن الأرض مسافة ١٦٠٠٠ سنة ضوئية، ويتكون من نجمين معتمين يدور كل منهما حول الآخر كل سبع ساعات وخمس وأربعين دقيقة، ويطلق كل منهما كمية كبيرة من موجات الجاذبية تتبعه في دورانه، للتمثيل تخيل أنك تمسك بملعقتين وتحرك بهما كمية من دبس السكر في قدر بحيث تدور كل من الملعقتين حول الأخرى، حينها ستجد أن كل ملعقة سوف تترك وراءها أثرًا من دبس السكر حينما تتحرك، وإذا افترضنا أن دبس السكر هو الزمكان والملاعق هي النجوم الميتة فسنجد أن النجمين أثناء ملاحقة كل منهما للآخر يطلقان موجات من الجاذبية، ولأن هذه الموجات تحمل طاقة فهذا يعني أن النجمين يفقدان الطاقة تدريجيًّا حتى تنفد، مما يجعلهما يسلكان معًا مسارًا لولبيًّا هابطًا. ومن خلال دراسة إشارات نظام هذا النجم المزدوج فإننا نستطيع أن نحدد بطرق تجريبية موعد انهيار هذا النظام، وكما استنتجت النسبية العامة ثبت أن النجمين يقتربان أحدهما من الآخر مسافة ملليمتر واحد في كل دورة يدورانها، وإذا كان هناك مدار نجمي قطره ٤٣٥٠٠٠ ميل فإن مقدار الانكماش في هذا المدار خلال سنة واحدة سيكون ياردة واحدة، وهو الرقم الذي تحدده معادلات أينشتاين بالضبط، وبعد مائتين وأربعين مليون عام سوف ينهار النجمان تمامًا بفعل فقدانهما لموجات الجاذبية. ومما سبق استطعنا أن نحدد مدى دقة النسبية العامة؛ فالأرقام التي خرجت بها التجربة السابقة كانت محددة جدًّا واستطعنا أن نستنتج منها أن النسبية العامة دقيقة بنسبة ٩٩,٧٪ (وهي نسبة مسموح بها ضمن الخطأ التجريبي).

وفي الفترة الأخيرة ظهر اهتمام كبير بتجارب واسعة النطاق هدفها مراقبة موجات الجاذبية بشكل مباشر. وعما قريب قد يحرز مرصد الليجو (المرصد الليزري لموجات الجاذبية) السبق في ملاحظة موجات الجاذبية لأول مرة، وربما سوف يرصدها من الثقوب السوداء المتصادمة في الفضاء الخارجي، ومرصد الليجو هو حلم طالما راود الفيزيائيين حتى تحقق في النهاية، فهو أول مرصد قوي بدرجة تسمح له بقياس موجات الجاذبية، ويتكون هذا المرصد من ثلاث مراصد ليزر فرعية مقامة في الولايات المتحدة (اثنان في هانفورد بواشنطن، وواحد في ليفينجستون بلويزيانا). وهذا المرصد هو في الواقع جزء من مرصد دولي كبير يضم مرصدًا مشتركًا بين إيطاليا وفرنسا يسمى فيرجو ويقع في بيزا بإيطاليا، وآخر ياباني يدعى تاما ويقع خارج مدينة طوكيو، ومرصد رابع مشترك بين بريطانيا وألمانيا يسمى GEO600 ويقع في هانوفر بألمانيا، وتبلغ التكلفة المتوقعة لهذا المشروع وقت تمامه ٢٩٢ مليون دولار أمريكي (بالإضافة إلى ٨٠ مليون أخرى للتعاقدات وأعمال التطوير) وهو ما يجعله أكثر المشاريع التي مولتها المؤسسة الدولية للعلوم تكلفة.

تشبه أدوات الاستشعار الليزرية المستخدمة في الليجو إلى حد بعيد الآلة التي استخدمها مايكلسون ومورلي في مطلع القرن العشرين لاستشعار رياح الأثير، فيما عدا أن الآلة الجديدة تستخدم أشعة الليزر بدلًا من أشعة الضوء العادية؛ تشطر هذه الآلة شعاع الليزر إلى شعاعين منفصلين يتحركان في اتجاهين متعامدين أحدهما على الآخر، ثم بعد ذلك يصدمان بمرآة فيعودان للاتحاد من جديد. إذا ارتطمت موجة الجاذبية بمقياس التداخل الذي هو من مكونات المرصد فسوف يحدث تغير في أطوال مسارات أشعة الليزر قد تلاحظ على أنها أنماط تداخلية بين الشعاعين. وللتأكد من أن الإشارات التي تلتقطها مستشعرات الليزر ليست زائفة لا بد من أن يتم نشر مستشعرات الليزر في جميع أنحاء كوكب الأرض، ووحدها موجات الجاذبية العظمى التي تفوق كوكب الأرض حجمًا هي القادرة على تحفيز جميع المستشعرات في آن واحد.

وسوف تقوم وكالة ناسا والوكالة الأوروبية للفضاء بتركيب مجموعة من هذه المستشعرات في الفضاء الخارجي من خلال خطة مقرر تنفيذها

عام ٢٠١٠ تتضمن إطلاق ثلاثة أقمار صناعية بها مستشعرات ليزر تسمى ليسا (وهي اختصار لعبارة المجس الفضائي لتداخل الليزر) بحيث تدور حول الشمس في مدار يبعد عنها نفس مسافة بعد الأرض تقريبًا. سوف تشكل المستشعرات الثلاثة مثلثًا متساوي الأضلاع في الفضاء (وسيبلغ طول كل ضلع منها ثلاثة ملايين ميل). وسوف يكون هذا النظام من الحساسية بمكان أنه سوف يستطيع التقاط ذبذبات جزء من بليون تريليون جزء (وكذلك استشعار تغير يبلغ قدره جزءًا على مائة جزء من عرض ذرة واحدة) وهو الأمر الذي سيمكن العلماء من استشعار جميع موجات التصادم التي حدثت في الكون منذ الانفجار الكبير. وإذا تمت هذه المهمة بنجاح فسوف تستطيع مستشعرات ليسا أن تحدد ما حدث في الجزء على تريليون جزء من الثانية الأولى التي أعقبت الانفجار الكبير، وهو ما يجعلها أهم الأدوات الكونية المستخدمة في التعرف على بداية خلق الكون، ولليسا فائدة أخرى فهي قد تستطيع جمع أول بيانات تجريبية محددة عن طبيعة نظرية المجالات الموحدة التي هي نظرية كل شيء.

ولقد كانت عدسات الجاذبية من الأدوات المهمة التي كان أينشتاين أول من أشار إليها، فعام ١٩٣٦ كان قد أثبت أن المجرات القريبة يمكن أن تقوم بدور عدسات ضخمة قادرة على تركيز الضوء على الأجسام البعيدة، لكن فكرته هذه ظلت نظرية فقط ولم تُثبت إلا عام ١٩٧٩ حينما راقب الفلكيون النجم الزائف Q0957+561 واكتشفوا أن المكان منحنٍ ويركز الضوء كما تفعل العدسة.

وعام ١٩٨٨ اكْتُشِف جزء من حلقات أينشتاين لأول مرة وهي الحلقات التي كان قد تنبأ بها قبل ذلك، وتم هذا الكشف بواسطة مصدر الراديو MG1131+0456، ثم تم بعد ذلك اكتشاف نحو عشرين جزءًا لحلقات غير تامة. حتى كان عام ١٩٩٧ واكتشفت أول حلقة تامة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي وتلسكوب ميرلين الذي يستخدم أشعة الراديو (كلمة MERLIN هي اختصار لجملة شبكة قياس التداخل متعددة العناصر والمرتبطة بأشعة الراديو.) فحينما درس الفلكيون مجرة 1938+666 النائية وجدوا حلقة تحيط بها. يقول دكتور إيان براون الأستاذ بجامعة مانشستر متحدثًا عن

لحظة اكتشاف الحلقة: «في البداية بدت صورتها غير طبيعية حتى ظننا أن خللًا حدث أثناء التقاطها، لكننا بعد حين أدركنا أننا ننظر إلى حلقة تامة من حلقات أينشتاين.»[٥] ابتهج الفلكيون البريطانيون بهذا الاكتشاف أشد الابتهاج وقالوا عنه: «إنه سبق كبير»[٦]، فبرغم صغر حجم هذه الحلقة في الصورة لدرجة أنها لا تتعدى حجم العملة المعدنية حينما تنظر إليها من مسافة ميلين، إلا أن تلك الصورة كانت برهانًا أكيدًا على نبوءة أينشتاين التي خرج بها منذ عشرات السنين.

وظهر واحد من أهم الأدلة المثبتة للنظرية العامة في مجال علم الكون؛ فعام ١٩٦٥ رصد العالمان الفيزيائيان روبرت ويلسون وأرنو بينزياس موجة صغرى ضعيفة قادمة من الفضاء الخارجي بواسطة تلسكوب الاستشعار الموجود في معمل بيل بنيوجيرسي. لم يكن هذان العالمان على اطلاع بالأبحاث الرائدة التي قام بها جامو وتلاميذه، لكنهما رصدا بمحض المصادفة إشعاعًا كونيًّا مرتدًّا من الانفجار الكبير دون أن يدركا حقيقته. (يروى أنهما ظنا أن ما يلتقطانه هو اضطراب ناتج عن فضلات الطيور التي تناثرت على التلسكوب. وفيما بعد تعرف الفيزيائي على هذا الإشعاع بعد أن أدرك أنه ارتجاع للموجة الصغرى التي اكتشفها جامو.) ولقد نال بينزياس وويلسون جائزة نوبل على هذا الإنجاز الكبير. ومنذ ذلك الوقت استمر قمر COBE الصناعي (كلمة COBE هي اختصار لعبارة مستكشف الارتجاع الكوني) الذي أطلق عام ١٩٨٩ في إمدادنا بمعلومات أكثر تفصيلًا عن ذلك الارتجاع لإشعاع الموجة الصغرى والذي يتميز بنظاميته. ونجح فريق من الفيزيائيين بقيادة جورج سموت الأستاذ بجامعة كاليفورنيا في بيركلي من خلال تحليل الموجات الضعيفة في ذلك الارتجاع المنظم في الخروج بصورة مهمة لارتجاع إشعاعي حدث حينما كان عمر الكون ٤٠٠٠٠٠ عام فقط. أطلقت وسائل الإعلام على هذه الصورة خطأً اسم «وجه الرب». (لكن هذه الصورة ليست بوجه الرب وإنما هي صورة للانفجار الكبير حين كان لا يزال حديثًا).

لكن أكثر ما يجذب الانتباه في هذه الصورة هو أن هذه الموجات تتجاوب مع أي تغير كمي حدث في الانفجار الكبير مهما كان هذا التغير صغيرًا، وهو ما يعني أنه طبقًا لمبدأ عدم اليقين لا يمكن أن يكون الانفجار

الكبير قد حدث منتظمًا وإلا لكانت التأثيرات الكمية قد خلقت موجات بأحجام متساوية. (والواقع أنه لولا اكتشاف تلك الموجات لتلقى مبدأ عدم اليقين ضربة موجعة تشكك في مصداقيته.) لم تكتف هذه الموجات بإظهار أن مبدأ عدم اليقين ينطبق على مولد الكون بل أوحت أيضًا للعلماء بآلية معقولة يمكن أن يكون ذلك «الكون المتكتل» قد خُلق بها؛ فإذا نظرنا حولنا فسنرى المجرات تتخذ أشكال العناقيد وهو ما يجعل نسيج الكون خشنًا، وقد يفسر وجود هذه الكتل بكونها نتيجة للموجات الناتجة عن الانفجار الكبير التي استطالت واتسع مداها بتمدد الكون، وهو ما يعني أننا حين نرى عناقيد المجرات في السماء فإننا ننظر في الحقيقة إلى الموجات الأصلية التي خلفها الانفجار الكبير والتي يحكمها مبدأ عدم اليقين.

غير أن أهم نبوءات أينشتاين التي تحققت فيما بعد قد تكون تلك المتعلقة بالطاقة السوداء؛ فكما ذكرنا من قبل كان أينشتاين قد وضع عام ١٩١٧ نظرية الثابت الكوني (أو طاقة الفراغ) كي ينقض بها الرأي القائل إن الكون آخذ في التمدد. (وإننا نتذكر أن المتغير المشارك العام لا يسمح إلا بحالتين فقط هما انحراف ريتشي والزمكان، وهو ما يجعل نقض الثابت الكوني أمرًا صعبًا.) لكن أينشتاين تراجع بعدها عن تلك الفكرة عندما أثبت إدوين هابل أن الكون يتمدد بالفعل. إلا أن الاكتشافات التي حدثت عام ٢٠٠٠ أظهرت أن أينشتاين كان محقًّا على الأرجح؛ فالثابت الكوني موجود بالفعل، ليس هذا فحسب بل إن الطاقة السوداء موجودة وتمثل أكبر مصادر المادة/الطاقة في الكون بأكمله؛ فقد استطاع الفلكيون أن يحسبوا معدل تمدد الكون على مدى مليارات السنين من خلال دراسة النجوم المستعرة العظمى (السوبرنوفا) في المجرات القصية، والأمر الذي أدهشهم هو أنهم وجدوا أن تمدد الكون لا يبطؤ، كما اعتقد البعض، وإنما هو في الواقع آخذ في التسارع، أي أن الكون سيظل يتمدد إلى الأبد وهو ما يجعلنا نستطيع التنبؤ بالطريقة التي سينتهي بها.

في السابق كان بعض علماء الكونيات يعتقدون أن المادة الموجودة في الكون كافية للارتداد الذي قد يحدث في النهاية بأن يأخذ الكون في الانكماش ويظهر في الفضاء الخارجي انزياح أزرق. (اعتقد العالم الفيزيائي ستيفن

هوكينج أن الزمن كذلك قد يرتد على عقبيه بينما ينكمش الكون مما ينتج عنه أن يعيد التاريخ نفسه، وهذا يعني أن الكبار سيعودون أطفالًا إلى أن يقفزوا إلى أرحام أمهاتهم مرة أخرى، ومن قفزوا إلى المسبح من فوق لوح الغطس سيرتفعون من قاع المسبح حتى ينتهوا إلى لوح الغطس مرة أخرى غير مبتلين على الإطلاق، وسيطير البيض المقلي أيضًا ويدخل في قشرته التي سيجبر كسرها فتحتويه من جديد. لكن هوكينج عاد بعدها وأقر بأنه أخطأ في هذا التقدير.) وفي النهاية سوف ينفجر الكون من داخله مُطلِقًا حرارة شديدة ينتج عنها «انسحاق كبير». لكن مجموعة أخرى من العلماء رأوا أن الكون سيتعرض لانفجار كبير آخر ينتج عنه كون متذبذب.

إلا أن جميع هذه النظريات قد بطلت بعد أن أثبتت الدراسات التجريبية أن تمدد الكون آخذ في التسارع المستمر، ولعل أبسط تفسير لهذا التمدد — ويتوافق مع النتائج المعطاة — هو أن هناك كمية مهولة من الطاقة السوداء تنتشر في الكون لها تأثير مضاد للجاذبية لا يفتأ يدفع المجرات بعيدًا بعضها عن بعض، وكلما زاد حجم الكون بفعل التمدد زادت كمية طاقة الفراغ وزادت معها سرعة تباعد المجرات عن بعضها وهو ما يجعل التمدد متسارعًا.

هذه النظرية تؤكد فكرة معروفة باسم «الكون المتضخم» كان أول من اقترحها ألان جوث الأستاذ بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وكانت نسخة معدلة لنظرية الانفجار الكبير الأصلية التي وضعها فريدمان ولوماتر، تنص هذه الفكرة على أن تمدد الكون له مرحلتان؛ المرحلة الأولى هي مرحلة التمدد السريع المتضاعف التي فيها يتحكم في الكون ثابت كوني كبير، لكن في المرحلة الثانية يتوقف هذا التضخم المتضاعف وتبطؤ سرعة التمدد فتصل إلى السرعة التي حددها فريدمان ولوماتر. وإذا صح هذا فإنه يعني أن ذلك الكون الذي نراه من حولنا ما هو إلا نقطة دقيقة في حيز مهول من الزمكان هو الكون الحقيقي. كما أن التجارب الحديثة التي أجريت بواسطة المناطيد التي تطير إلى ارتفاعات شاهقة في الغلاف الجوي جاءت بنتائج تقول إن الكون مسطح، وهو ما يدل على ما له من حجم مهول، وللتمثيل تخيل أنك نملة جالسة على بالون كبير الحجم حينها ستظن أن البالون مسطح لأنك صغير جدًّا ولا ترى أماكن انحنائه.

وبخلاف هذا تدفعنا الطاقة السوداء لأن نعيد تقييم مواقعنا وأدوارنا الحقيقية التي نؤديها في الكون كبشر. كان كوبرنيكوس هو أول من أشار إلى أن موقع البشر في النظام الشمسي غير ذي أهمية، ثم جاء وجود المادة السوداء ليثبت أن الذرات التي تكوّن عالمنا ذاتها ليست مهمة لأن نسبة ٩٠٪ من مادة الكون قوامها تلك المادة السوداء الغامضة، ثم جاءت الدراسات التي أجريت على الثابت الكوني لتظهر أن الطاقة السوداء ضخمة جدًّا مقارنة بالمادة السوداء، والمادة السوداء بدورها ضخمة جدًّا مقارنة بطاقة النجوم والمجرات. والآن صار الثابت الكوني، الذي اقترحه أينشتاين مترددًا ليؤكد ثبات الكون، هو على الأرجح أعظم مصدر للطاقة في الكون. (عام ٢٠٠٣ أثبت القمر الصناعي WMAP أن نسبة ٤٪ من مادة الكون وطاقته تتكون من الذرات العادية، ونسبة ٢٣٪ منه تتكون من مادة سوداء غير معروفة، ونسبة ٧٣٪ منه تتكون من الطاقة السوداء.)

وكانت الثقوب السوداء أيضًا واحدة من أغرب نبوءات النسبية العامة التي اعتبرها البعض ضربًا من الخيال العلمي بعدما أعاد شفارتزشيلد إحياء مفهوم النجوم السوداء عام ١٩١٦. إلا أن تلسكوب هابل الفضائي وكذلك تلسكوب الراديو الضخم قد أثبتا اليوم وجود ما يربو عن خمسين ثقبًا أسود معظمها يقع في مراكز المجرات، ليس هذا فحسب بل إن علماء فلك كثيرين صاروا يؤمنون اليوم بأن نصف عدد المجرات الموجودة في الكون، وهو العدد الذي يقدر بالتريليونات، يقع في مركزها ثقب أسود.

كان أينشتاين قد أدرك المشكلة التي تحول دون ملاحظة تلك الظواهر الغريبة والتي تتمثل في انعدام القدرة على رؤيتها، لأن الضوء نفسه لا يستطيع أن يهرب منها. لكن تلسكوب هابل الفضائي، الذي يملك القدرة على النفاذ إلى أعماق نجوم زائفة قصية ومجرات نائية، استطاع أن يلتقط صورًا للأقراص الدوارة التي تحيط بالثقوب السوداء الواقعة في مراكز مجرات بعيدة مثل المجرة M-87 والمجرة NGC-4258، بل إنه أظهر أن أجزاء من هذه المادة تدور حول الثقوب السوداء بسرعة تقدر بملايين الأميال في الساعة. أظهرت أكثر الصور التي التقطها تلسكوب هابل تفصيلًا أنه في مركز كل ثقب أسود هناك نقطة، تفصلها مسافة سنة ضوئية واحدة عن

حوافه، قادرة على أن تدير مجرة كاملة تبعد عنها مائة ألف سنة ضوئية. وبعد سنين قضاها العلماء في التخمين اتضح أخيرًا عام ٢٠٠٢ أن هناك ثقبًا أسود يقبع في حديقتنا الخلفية، في مجرة الطريق اللبني التي تزن الشمس مليوني مرة، معنى هذا أنه في حين يدور القمر حول الأرض وتدور الأرض حول الشمس، تدور الشمس حول ثقب أسود.

نَصَّت أبحاث ميتشيل ولابلاس التي أجرياها في القرن الثامن عشر على أن كتلة النجم الأسود أو الثقب الأسود تتناسب مع نصف قطره، وهذا يعني أن كتلة الثقب الأسود الموجود في مركز مجرتنا تبلغ عشر نصف قطر مدار كوكب عطارد، ولكم هو من العجيب أن جسمًا بهذا الصغر قادر على التأثير على حركة مجرة بأسرها. وعام ٢٠٠١ استطاع الفلكيون بواسطة تأثير عدسات أينشتاين أن يقرروا وجود ثقب أسود يجول في مجرة الطريق اللبني وتؤدي حركته إلى تشتيت أضواء النجوم المحيطة به، وبتتبع حركة تشتت تلك الأضواء استطاع العلماء تحديد المسار الذي يتخذه هذا الثقب الأسود في السماء. (إذا حدث واقترب ثقب أسود من الأرض فستحيق بها كارثة مدمرة، إذ إن هذا الثقب قادر على ابتلاع النظام الشمسي بأكمله دون أدنى اضطراب يصيبه.)

وعام ١٩٦٣ حدث فتح علمي جديد في الأبحاث المتعلقة بالثقوب السوداء حينما نجح العالم الرياضي النيوزيلاندي روي كير في تعميم نظرية شفارتزشيلد كي تشمل الثقوب السوداء الدوارة؛ إذا كان كل ما في الكون يدور، وإذا كانت كل الأجسام تدور بشكل أسرع عندما تسقط، فإنه من المنطقي أن الثقب الأسود يدور بسرعة هائلة. أدهش كير الجميع حين توصل إلى حل لمعادلات أينشتاين الذي يتحول فيه النجم المنهار إلى حلقة دوارة؛ تحاول قوى الجاذبية أن تشد الحلقة إلى الأسفل لكن هناك قوى مضادة تعادل تأثير الجاذبية وتجعل الحلقة الدوارة مستقرة في مكانها. غير أن أكثر ما أثار عجب أتباع النسبية هو أن حل كير هذا قد أثبت أن المرء إذا سقط خلال تلك الحلقة فلن يموت منسحقًا كما كانوا يظنون من قبل؛ فبرغم أن نطاق الجاذبية واسع فإنه في الوقت نفسه مقيد بمركز الثقب، وهو ما يعني أن المرء إذا سقط خلال الحلقة فسيجد نفسه في كون

آخر، والرحلة عبر جسر أينشتاين-روزن ليست بالضرورة رحلة هلاك؛ لأن الحلقة إذا كانت بالاتساع المطلوب فيمكن للنافذ خلالها أن يدلف إلى كون مواز بأمان.

لم يتمهل الفيزيائيون وانكبوا على نظرية كير يكيلون لها النقد الشديد، فمن خلال هذه النظرية نستنتج أن هذا السقوط سيكون تجربة لا تنسى، فهي تنص من حيث المبدأ على أنه يمكن أن يمنحنا طريقًا مختصرًا للنجوم ناقلًا إيانا إلى جزء آخر من أجزاء المجرة أو إلى كون مختلف تمامًا. وإذا استطاع أحد أن يقترب من ثقب أسود فإنه وفقًا لنظرية كير سيمر خلال أفق الحدث ولن يستطيع العودة مرة أخرى إلى حيث أتى (إلا إذا كان في ذلك الكون الموازي ثقب أسود يربطه بكوننا مما يجعل إمكانية العودة متاحة.) وخلافًا لهذا انطوت هذه النظرية على مشاكل تتعلق بالاستقرار؛ فمن الممكن إثبات أنه إذا عبر أحد جسر أينشتاين-روزن فسيسبب اضطرابًا في الزمكان قد يجبر الثقب الأسود، طبقًا لنظرية كير، على أن ينغلق حائلًا دون استكمال تلك الرحلة.

وعلى ما في نظرية كير من غرابة لكونها تفترض وجود بوابات واصلة بين الأكوان، فإنه لا يمكن رفضها في إطار الفيزياء لأن الثقوب السوداء تدور بالفعل بسرعة هائلة. لكن مع هذا تبقى نقطة أن هذه النظرية تنص على أن الثقوب السوداء لا تربط فقط بين نقطتين متباعدتين مكانيًا بل تعمل أيضًا عمل آلة الزمن واصلة بين زمنين مختلفين.

عندما استنبط جودل إمكانية السفر عبر الزمن من معادلات أينشتاين عام ١٩٤٩ لم يلق رأيه هذا قَبولًا لدى الفيزيائيين بل إنهم اعتبروه بدعة وانحرافًا عن تلك المعادلات، لكن ما حدث أنه منذ ذلك الوقت خرجت مئات الحلول لمعادلات أينشتاين تثبت إمكانية السفر عبر الزمن. بل إنه اتضح أن أحد الحلول القديمة خرج به دبليو جيه فان ستوكوم عام ١٩٣٦ يؤيد هذه الإمكانية؛ يفترض حل فان ستوكوم أن الزمن أسطوانة غير محدودة تدور بسرعة كبيرة حول محورها مثل الأعمدة الدوارة التي كانت توجد في صالونات الحلاقة القديمة، فإذا تحرك المرء حول الاسطوانة فقد يستطيع أن يصل إلى النقطة التي انطلق منها قبل أن ينطلق، وهو ما نص عليه

أيضًا حل جوديل الذي وضعه عام ١٩٤٩، ومع أن هذا الحل قد جذب انتباه كثيرين فإنه انطوى على مشكلة كبيرة، وهي أن تلك الأسطوانة لا بد أن يكون طولها غير محدود، وهو الأمر الذي جعل حلي ستوكوم وجوديل يُرفضان فيزيائيًّا.

لكن كيب ثورن وزملاءه بجامعة كلتاك استطاعوا عام ١٩٨٨ أن يخرجوا بحل آخر يسمح بالسفر عبر الزمن من خلال الثقوب الدودية. أشار هؤلاء العلماء إلى وجود نوع جديد من الثقوب الدودية ثنائي الاتجاه ومن خلاله يمكن اجتياز أفق الحدث ثم العودة مرة أخرى، بل إنهم قالوا أيضًا إن أي رحلة خلال هذه الثقوب ستكون مريحة بالضبط مثل أي رحلة بالطائرة.

والأساس الذي تقوم عليه جميع هذه الآلات الزمنية هو المادة أو الطاقة القادرة على جعل الزمكان يلتف حول نفسه، ولكي يتحول الزمان إلى ما يشبه أصابع البسكويت المملح الملتفة فإنه يحتاج إلى كمية مهولة من الطاقة تتجاوز بمراحل نطاق العلم الحديث، فتلك الآلة الزمنية التي افترضها ثورن تستلزم إما مادة سلبية أو طاقة سلبية؛ أما المادة السلبية فلم يسبق أن رآها أحد وهي مادة يُفترض أنك إذا ألقيت قدرًا منها من يدك فستسقط إلى الأعلى لا إلى الأسفل، ولم تأت الأبحاث المتعلقة بهذه المادة السلبية بأي نتائج حتى الآن، ولو أنها وجدت على الأرض قبل مليارات السنين فلا بد أنها سقطت في الفضاء وفقدت إلى الأبد. أما الطاقة السلبية فهي موجودة بالفعل وتتمثل في تأثير كازيمير؛ فالعلماء اعتقدوا في السابق أننا إذا وضعنا لوحين معدنيين محايدين غير مشحونين موازيين أحدهما للآخر فلن ينجذب أحدهما للآخر أو يتنافر، ولهذا فسوف يظلان مستقرين في مكانهما، لكن عام ١٩٤٨ أشار هنريك كازيمير إلى حقيقة كمية مدهشة وهي أن هذين اللوحين المتوازيين سيجذب أحدهما الآخر بقوة ضئيلة لكنها غير منعدمة وهو أمر قابل للقياس معمليًّا.

مما سبق نستطيع أن نحدد كيفية تصميم آلة زمن طبقًا لنظرية ثورن على النحو الآتي: نأتي بمجموعتين من الألواح المعدنية ونَصُفّ كلًّا منهما بموازاة الأخرى، وبسبب تأثير كازيمير ستنشأ في المسافة الفاصلة

بين كل لوحين متوازيين طاقة سلبية، وطبقًا لنظرية أينشتاين سيترتب على استحضار الطاقة السلبية حدوث فتحات أو فقاعات صغيرة زمكانية (يقل حجمها عن حجم الجسيمات دون الذرية) داخل تلك المنطقة. والآن لنفترض جدلًا أن حضارة ما أتت بعدنا بزمن بعيد وامتلكت التكنولوجيا التي تمكنها من التحكم في هذه الفتحات وتوسيع المسافة بين الألواح بحيث يمكن وضع أنبوب طويل أو ثقب دودي يصل بينهما (جدير بالذكر أن الوصل بين تلك الألواح بواسطة الثقوب الدودية هو أمر يتعدى قدرات التكنولوجيا المتوفرة اليوم بمراحل) حينئذٍ يمكن أن نضع زوجًا واحدًا من هذه الألواح على متن صاروخ ينطلق بسرعة تقترب من سرعة الضوء، وهو ما ينتج عنه أن الزمن سيبطؤ داخله كما ذكرنا من قبل، وهنا إذا قفز أحدهم داخل الثقب الناشئ بين اللوحين الموجودين على الأرض فسيُشْفَط داخل الثقب الدودي الواصل بين اللوحين ويخرج منه إلى الصاروخ المنطلق في الزمن الماضي أي أنه سيخرج في نقطة مختلفة زمانيًا ومكانيًا.

ومنذ ذلك الوقت صارت آلات الزمن (أو «منحنيات الزمن المغلق») مجالًا خصبًا للأبحاث الفيزيائية وصدرت دراسات عديدة تضع تصاميم مختلفة لآلات زمنية تقوم على نظرية أينشتاين. لكن بعض الفيزيائيين لم ترقهم تلك الفكرة ومنهم هوكينج الذي سخر منها وقال إنه لو كان السفر عبر الزمن ممكنًا لامتلأ زماننا بسياح قادمين من المستقبل وهو ما لم يحدث كما نعرف، ولتعذرت كتابة التاريخ لأنه سيتغير كلما ضغط أحدهم على زر آلته الزمنية، وبرر هوكينج سخريته تلك برغبته في جعل العالم مكانًا آمنًا للمؤرخين. لكن نفرًا كثيرًا من الفيزيائيين الآخرين وجدوا إلهامهم في رواية «ملك الماضي والمستقبل» للروائي تي إتش وايت التي تصور مجتمعًا من النمل يعيش وفقًا للحكمة القائلة: «ما لم يمنع فهو مفروض» فصدقوا فكرة السفر عبر الزمن حتى إن هوكينج اضطر في النهاية لأن يتجاوب معهم فخرج بفكرة «قانون حماية الزمن» التي تخمن أن تشريعًا مستقبليًا قد تم سنه لمنع السفر عبر الزمن والعبث بالتاريخ. (لكن هوكينج يئس من محاولة إثبات تخمينه هذا وصار رأيه الحالي أن السفر عبر الزمن ممكن نظريًا فقط ولا يمكن تحقيقه عمليًا).

ومما سبق نستنتج أن هذه الآلات الزمنية تخضع لقوانين الفيزياء التي نعرفها اليوم، ولا ينقصنا لتحقيق السفر عبر الزمن إلا وضع أيدينا على هذه الطاقة الهائلة (التي لن توجد إلا في حضارة متقدمة جدًّا من الناحية التكنولوجية) وإثبات أن الثقوب الدودية ستقف ثابتة في وجه قوانين الكم ولن تنفجر أو تنغلق إذا حاول أحدهم عبورها.

الجدير بالذكر أيضًا أن التناقضات الزمنية (على غرار أن يقتل أحدهم والديه قبل أن يلداه) يمكن أن تجد لها آلات الزمن حلًّا، ولأن نظرية أينشتاين تقوم على أسطح رايمان الملساء والمنحنية فهذا يعني أننا لن نختفي إن رجعنا إلى الزمن الماضي وخلقنا تناقضًا زمنيًّا. هناك حلان ممكنان لهذه التناقضات؛ أولهما أنه إذا كان في نهر الزمن دوامات فإننا إذا رجعنا مع التيار العائد لا نغير الماضي بل نكمله، بمعنى أن ركوبنا آلة الزمن والعودة إلى الماضي هو في حد ذاته جزء من الماضي، اعتنق هذا الرأي عالم الكونيات الروسي إيجور نوفيكوف الذي قال: «ليس بمقدورنا أن نرسل مسافرًا عبر الزمن إلى جنة عدن كي يطلب من حواء ألا تلتقط التفاحة من الشجرة.»[٧] أما الحل الثاني فيتمثل في أن نهر الزمن قد يتفرع إلى نهرين مما يوجد عالمين متوازيين، ومعنى هذا أنك إذا رجعت في الزمن وقتلت أبويك قبل أن ينجباك فأنت لم تقتلهما بالفعل وإنما قتلت شخصين تطابق جيناتهما جينات والديك لكنهما ليسا بوالديك؛ فوالداك قد أنجباك وكانا سبيلًا لوجود جسدك، وما حدث أنك سافرت إلى كون موازٍ غير الكون الذي أنجباك فيه، وبهذا تكون جميع التناقضات الزمنية قد حلت.

لكن جميع النظريات السابقة لم تكن بمكانة نظرية المجالات الموحدة عند أينشتاين وهي النظرية التي قال عنها لسكرتيرته هيلين دوكاس إنه قد يدرك العلماء بعد مائة سنة فكرة هذه النظرية، لكنه أخطأ في هذا؛ فبعد أقل من خمسين سنة أُعيد إحياؤها وصارت تلقى اهتمامًا واسعًا لدى الفيزيائيين، وبعد أن كان مفهوم التوحيد يلقى سخرية من معظم المشتغلين بالفيزياء لكونه بعيدًا عن متناول البحث العلمي، صار الآن في متناولهم يكادون يضعون أيديهم عليه، بل أصبح على رأس جدول أعمال جميع مؤتمرات الفيزياء النظرية تقريبًا.

وبعد ألفي عام من البحث في خصائص المادة منذ أن تساءل ديموقريطس ورفاقه الإغريق عن المادة التي صُنِعَ منها الكون، خرجت الفيزياء اليوم بنظريتين متناقضتين أشد ما يكون التناقض للإجابة على هذا السؤال؛ أولى هاتين النظريتين هي نظرية الكم التي ليس لها ند من حيث وصفها لعالم الذرة وما تشتمل عليه من جسيمات دون ذرية. أما الثانية فهي نسبية أينشتاين التي أذهلت العالم باكتشافات عظيمة كالثقوب السوداء وتمدد الكون. لكن المفارقة الكبرى أن هاتين النظريتين المهمتين تقفان على طرفي نقيض إحداهما من الأخرى، فكل منهما تقوم على فرضيات وقواعد رياضية وصور فيزيائية تختلف عن الأخرى؛ ففي حين ترتكز نظرية الكم على وحدات منفصلة من الطاقة تسمى كل وحدة منها «كوانتم» وكذلك على حركة الجسيمات دون الذرية، ترتكز النسبية على الأسطح الملساء.

في السنين الأخيرة وضع الفيزيائيون تصورًا جديدًا لنظرية الكم يعتبر التصور الأكثر تقدمًا وصاغوه فيما يعرف بـ«النموذج المعياري» وهو النموذج القادر على تفسير البيانات التجريبية للجسيمات دون الذرية. اعتبر هذا النموذج أكثر النظريات الطبيعية نجاحًا على الإطلاق لأنه استطاع أن يصف ثلاث خصائص من ضمن القوى الأربعة الأساسية (هذه القوى الثلاثة هي: القوة الكهرومغناطيسية، والقوتين النوويتين الضعيفة والقوية). لكن نجاح هذا النموذج لم يمنع ظهور مشكلتين واضحتين أشد الوضوح به تتمثل أولاهما في أنه نموذج في غاية القبح، بل إنه قد يكون أقبح نظرية ظهرت في تاريخ العلم، فهو يجمع بين القوى الثلاثة السابق ذكرها معًا بشكل غير متناسق بالضبط، كما لو ربط حوتًا وخنزيرًا وزرافة بشريط لاصق ثم ادعى أن هذا مخلوق نتج بفعل تطور بيولوجي حدث على مدى ملايين السنين. وبخلاف هذا اشتمل ذلك النموذج المعياري على عدد كبير جدًا من جسيمات دون ذرية شديدة التنافر بعضها مع بعض وذات أسماء غريبة جدًا على غرار الكوارك، وبوزون هيجز، وجسيمات يانج ميلز، ودبليو بوزون، وجلوون، والنيوترينو. الأنكى من هذا أن هذا النموذج لا يشير من قريب أو من بعيد إلى الجاذبية، بل إن العلماء كلما حاولوا أن يفرضوا الجاذبية فرضًا على هذا النموذج وجدوه يتداعى ويصير محض هراء، وعلى

مدى خمسين سنة تقريبًا باءت جميع المحاولات التي استهدفت الربط بين النسبية ونظرية الكم بالفشل، لكن مع كل هذه العيوب الجمالية لا ينكر أحد أن ذلك النموذج قد حقق نجاحًا ساحقًا من الناحية التجريبية، وهو ما يرجح أن ما نحتاجه لإعادة تقييم منهج أينشتاين الخاص بالتوحيد هو أن نتجاوز ذلك النموذج المعياري.

وبعد مرور خمسين عامًا على وفاة أينشتاين ظهرت نظرية اعتبرت مرشحة لتكون نظرية كل شيء، نظرية توحد نظرية الكم ونظرية النسبية معًا فيما يسمى بـ«نظرية الأوتار الفائقة». والواقع أن هذه النظرية هي الوحيدة الباقية على الساحة العلمية بعد أن فُنِّدَت جميع النظريات الأخرى، يقول ستيفن واينبرج: «إن نظرية الأوتار قد أثبتت أنها المرشح الأوفر حظًّا لتكون النظرية النهائية»[8]، وأضاف قائلًا إن الخرائط التي كان الملاحون القدامى يستخدمونها كانت كلها تشير إلى وجود القطب الشمالي، ومع هذا مرت قرون كثيرة حتى تمكن روبرت بيري من أن يكون أول من يصل إليه عام ١٩٠٩. وبالمثل فإن جميع الاكتشافات التي تمت في مجال فيزياء الجسيمات كلها تشير إلى وجود قطب شمالي للكون يتمثل في نظرية المجالات الموحدة. تتميز نظرية الأوتار الفائقة بقدرتها على استيعاب جميع الملامح الإيجابية لنظرية الكم ونظرية النسبية بشكل بسيط للغاية؛ فهي تشبه الجسيمات دون الذرية بنوتات موسيقية على وتر مهتز، وهو تشبيه يختلف كثيرًا عن تشبيه أينشتاين الذي شبه فيه المادة بالخشب بسبب طبيعتها الفوضوية والمتشابكة (الأرجح أن أينشتاين كان سيحب هذا التشبيه لأنه كان موسيقيًّا بارعًا في عزف الكمان.)

في عقد الخمسينيات من القرن العشرين وصل الفيزيائيون إلى مرحلة يئسوا فيها من فهم طبيعة الجسيمات دون الذرية، لأنه لم يكن يمر عام دون أن يكتشف جسيم جديد لدرجة أن روبرت أوبنهايمر علق على هذا ممتعضًا: «الأجدى أن تُمنح جائزة نوبل في الفيزياء لمن لم يكتشف جسيمًا جديدًا هذه السنة.»[9] واعتاد العلماء أن يطلقوا على تلك الجسيمات الجديدة أسماء يونانية غريبة حتى إن إنريكو فيرمي علق على هذا قائلًا: «لو كنت أعلم منذ البداية أنه سيطلق على الجسيمات تلك الأسماء اليونانية

الغريبة والكثيرة لفضلت أن أكون عالم نبات على أن أكون فيزيائيًّا.»[١٠] في نظرية الأوتار الفائقة يستطيع كل من ينظر عبر ميكروسكوب فائق أن يرى الجسيمات الدقيقة قد استحالت إلى أوتار متذبذبة، وعندما تتذبذب تلك الأوتار في أنماط أو نوتات مختلفة فإنها تتحول إلى جسيمات مختلفة كالفوتون أو النيوترينو، في هذه الصورة تبدو لنا الجسيمات دون الذرية التي نراها في الطبيعة أخفض منطقة في ذلك الوتر الفائق. ومما سبق يتضح أن طوفان الجسيمات دون الذرية الذي ما انفك العلماء يكتشفون المزيد منه على مدى أكثر من عقد ما هو إلا نوتات على وتر فائق، وقوانين الكيمياء التي تبدو عشوائية ومربكة هي النغمات التي تعزف على ذات الوتر، والكون نفسه سيمفونية تعزف على أوتار متعددة، وقوانين الفيزياء هي ما يجعل هذه الأوتار الفائقة تتناسق.

علاوة على ما سبق تضم نظرية الأوتار الفائقة تحت لوائها جميع أفكار أينشتاين المتعلقة بالنسبية، فهي إذ تتناول الزمكان تقرر أن الفضاء المحيط به منحنٍ تمامًا كما ذكر أينشتاين عام ١٩١٥، بل إنها بدون أفكار أينشتاين عن الزمكان يصيبها الخلل وتصير غير متناسقة، حتى إن الفيزيائي إدوارد ويتن ذكر أنه حتى ولو لم يكتشف أينشتاين النسبية العامة لبرزت من داخل نظرية الأوتار الفائقة، وأضاف قائلًا: «إن ما يجعل نظرية الأوتار تلقى بقبول واسع هو حقيقة أن الجاذبية مفروضة علينا؛ فجميع نظريات الأوتار المعروفة تعتبر ظاهرة الجاذبية حقيقة لازمة على عكس نظرية مجالات الكم التي لا تتضمن تلك الظاهرة.»[١١]

غير أن نظرية الأوتار تنطوي أيضًا على أفكار مدهشة، ومنها أن الأوتار لا تتحرك إلا في عشرة أبعاد بشكل دائم (واحد من تلك الأبعاد للزمان والتسعة الباقية للمكان)، وهي بهذا تكون النظرية الوحيدة التي حددت الأبعاد التي تحكم الزمكان الخاص بها، كما أنها تشبه نظرية كالوزا-كلاين التي ظهرت عام ١٩٢١ في أنها قادرة على توحيد الجاذبية مع الكهرومغناطيسية من خلال افتراض أن الأبعاد العليا قادرة على أن تتذبذب خالقة قوى جديدة تنتشر في الأبعاد الثلاثة مثل الضوء. (وإذا أضفنا بعدًا حادي عشر لنظرية الأوتار فسيسمح بوجود أغشية تتذبذب

في المكان ذي الأبعاد المتعددة، تسمى هذه الفكرة «نظرية الغشاء» وهي قادرة على استيعاب نظرية الأوتار والخروج برؤى جديدة من منظور البعد الحادي عشر الأكثر شمولية.)

لعل السؤال المهم هنا هو كيف كان أينشتاين سيرى نظرية الأوتار الفائقة إذا كان حيًّا بيننا اليوم؟ يجيب الفيزيائي ديفيد جروس عن هذا السؤال بقوله: «سيسر أينشتاين بهذه النظرية أو بالهدف الذي ترمي إليه على الأقل حتى ولو لم يتحقق ... وسيسر بشكل خاص بأنها تقوم على مبدأ هندسي، وهو المبدأ الذي لا نفهمه بكل أسف.»[١٢] رأينا من قبل أن جوهر نظرية أينشتاين للمجالات الموحدة هو تخليق المادة (الخشب) من الهندسة (الرخام) وعلى هذا يعلق جروس قائلًا: «إن تكوين المادة من خلال القواعد الهندسية هو بشكل أو بآخر هدف نظرية الأوتار ... فهي نظرية للجاذبية تنشأ فيها جسيمات المادة ومعها قوى طبيعية أخرى بذات الطريقة التي تنشأ فيها الجاذبية من القواعد الهندسية.» من المفيد للغاية أن نتناول أبحاث أينشتاين القديمة حول نظرية المجالات الموحدة من منظور نظرية الأوتار؛ تجلت عبقرية أينشتاين في أنه استطاع تحديد التماثلات الأساسية في الكون وهي قادرة على توحيد قوانين الطبيعة، أما عن التماثل الذي يوحد الزمان والمكان فهو تحول لورنتز أو الدوران في أربعة أبعاد، وأما عن التماثل الذي تقوم عليه الجاذبية فهو المتغير المشارك أو تحولات الزمكان المتناظرة.

لكن أينشتاين عندما حاول لثالث مرة أن يخرج بالنظرية الموحدة الكبرى لم يحالفه التوفيق لأنه لم يجد تماثلًا قادرًا على أن يوحد الجاذبية مع الضوء، أو الرخام (الهندسة) مع الخشب (المادة)، وهو بالطبع لم يكن يخفى عليه أن ما ينقصه هو مبدأ يرشده أثناء بحثه في أدغال الحسابات المعقدة المتشابكة، وقد كتب عن هذا يقول: «إنني أؤمن أن السبيل لتحقيق أي تقدم يتلخص في إيجاد مبدأ طبيعي عام مستقى من الطبيعة.»[١٣]

وهذا هو بالضبط ما تقدمه نظرية الأوتار الفائقة؛ فالتماثل الذي تقوم عليه هذه النظرية يسمى بـ«التماثل الفائق» وهو تماثل على قدر من الغرابة والجمال، في نفس الوقت تتوحد من خلاله المادة مع القوى الأخرى.

كما ذكرنا من قبل تتميز الجسيمات دون الذرية بخاصية «الدوران» وهي الخاصية التي تجعلها أشبه بالنحلة الدوارة؛ تدور الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والكواركات بمعدل يقدر بـ ٢/١ وهذه الجسيمات هي التي تتألف منها المادة والتي هي قوام كوننا وتسمى مجتمعة «فيرمينات» تيمنًا باسم إنريكو فيرمي الذي اكتشف خاصية الدوران التي تميزها. أما وحدات الكم الخاصة بالقوى فهي تعتمد على الكهرومغناطيسية (ذات معدل الدوران ١) والجاذبية (ذات معدل الدوران ٢). لكن تجدر ملاحظة أن هذه الجسيمات تقوم بدوران مجمع يسمى البوزون (الذي نال اسمه من نظرية بوس-أينشتاين)، والفكرة الأساسية هنا هي أنه بشكل عام تتألف المادة (الخشب) من الفيرمينات التي تدور معًا نصف دورة، بينما تتألف القوى (الرخام) من البوزونات التي تدور معًا دورة كاملة، والتماثل الفائق يوحد الفيرمينات والبوزونات معًا وهو ما يحقق حلم أينشتاين بتوحيد الخشب والرخام معًا. بل إن هذا التماثل نفسه قد أوجد نمطًا جديدًا من القواعد الهندسية أثار دهشة علماء الهندسة أنفسهم ويسمى هذا النمط «المكان الفائق» ومن خلاله يمكننا أن نخرج بـ«الرخام الفائق»، وفي هذا المنهج الجديد يتعين علينا أن نُعَمِّم أبعاد الزمان والمكان القديمة على الأبعاد الفيرمينية الجديدة، وهو الأمر الذي يمكننا من خلق «قوة فائقة» تنبع منها جميع القوى الأخرى التي نشأت لحظة الخلق.

وفي إطار ما سبق استنتج الفيزيائيون أنه يجب تعميم مبدأ المتغير المشارك العام الذي وضعه أينشتاين على جميع القوانين الفيزيائية، ومما قالوه في هذا: «لا بد أن تكون جميع المعادلات الفيزيائية متغيرات مشاركة فائقة.» (أي أن تحتفظ بنفس شكلها حتى بعد أن تمر بتغير مشارك فائق).

إن ما تفعله نظرية الأوتار الفائقة هو أنها تمكننا من تحليل أفكار أينشتاين المتعلقة بنظرية المجالات الموحدة ولكن من منظور مختلف؛ فالدارس لحلول معادلات الأوتار الفائقة لا بد أن يجد أمامه الأماكن الغريبة التي كان أينشتاين أول من اكتشفها وتناولها في عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين. وكما ذكرنا من قبل كان أينشتاين يعمل على تعميم أماكن

رايمان التي نجدها اليوم تتوافق مع بعض الأماكن التي تظهر من نظرية الأوتار؛ كان أينشتاين يتأمل تلك الأماكن الغريبة (ومنها الأماكن المعقدة، والأماكن الموترة، والأماكن المنحنية، والأماكن المترابطة ... إلخ) في حسرة لأنه افتقد دليلًا فيزيائيًّا أو صورة فيزيائية تهديه الطريق خلال غابة الرياضيات المعقدة. لكننا الآن وجدنا حلًّا لهذه المشكلة يكمن في التماثل الفائق الذي يعتبر مبدءًا منظمًا يسمح لنا بتحليل كثير من هذه الأماكن من منظور مختلف.

لكن السؤال هنا هو: هل هذا التماثل الفائق هو ذات التماثل الذي قضى أينشتاين ثلاثة عقود يبحث عنه دون جدوى؟ كان الملمح الأساسي الذي تتصف به نظرية أينشتاين للمجالات الموحدة هو أنها تتألف كليًّا من الرخام وهو القواعد الهندسية الخالصة، أما الغابة القبيحة التي تسيطر على النسبية فينبغي لها أن تُسْتَوْعَب داخل القواعد الهندسية، والأرجح أن التماثل الفائق هو القادر على الخروج بنظرية هندسية خالصة تنطوي على شيء يسمى بـ«المكان الفائق» الذي يتصف فيه المكان نفسه بالتماثل الفائق، بعبارة أخرى نقول إن هناك احتمالًا كبيرًا لأن «نجد السبيل إلى وضع نظرية نهائية للمجالات الموحدة قائمة على قواعد هندسية خالصة».

«يعتقد الفيزيائيون اليوم أنه في اللحظة التي حدث فيها الانفجار الكبير توحدت جميع التماثلات الموجودة في الكون وهو نفس الرأي الذي كان أينشتاين يؤمن به.» أي أن القوى الأربعة التي نراها في الطبيعة (وهي الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوتان النوويتان القوية والضعيفة) قد توحدت في لحظة الخلق وصارت «قوة فائقة» مفردة ولم تتفرق بعدها إلا حينما انخفضت حرارة الكون، وكان تفرقها هذا هو ما جعل رهان أينشتاين على نظرية المجالات الموحدة يبدو خاسرًا لأن الجميع كان يراها أربعة قوى منفصلة لا قوة واحدة، لكننا إذا رجعنا بالزمن ١٣,٧ مليار سنة وقت حدوث الانفجار الكبير يمكننا أن نشهد الوحدة الكونية التي تخيلها أينشتاين ممثلة في أبهى صورها.

يذكر ويتن أنه سيأتي يوم تسيطر فيه نظرية الأوتار على حقل الفيزياء بالضبط كما سيطرت عليه ميكانيكا الكم طوال الخمسين سنة الماضية.

لكن الواقع أنه لا تزال هناك عقبات صعبة تحول دون تحقق هذا تتمثل في مواطن ضعف أشار إليها بعض منتقدي النظرية، ومنها أنه لا سبيل لاختبارها اختبارًا مباشرًا، لأنه إذا كانت تلك النظرية هي نظرية الكون بأسره فالطريقة الوحيدة لاختبارها هي إعادة إحداث الانفجار الكبير وتخليق طاقة في محطم للذرة تقارب الطاقة التي نشأت في بداية الخلق، لكن عمل هذا يستلزم محطم ذرة بحجم مجرة كاملة، وهو الأمر الذي يخرج عن نطاق المعقول حتى بالنسبة للحضارات المتقدمة. ومع هذا تظل الآمال معقودة لأن معظم القواعد الفيزيائية قابلة للاختبار بشكل غير مباشر، والأمر الآخر الذي يذكي هذه الآمال ويزيدها عِظَمًا هو أن مصادم الهدرونات الكبير المزمع إنشاؤه في جنيف بسويسرا يتوقع له أن يمتلك الطاقة اللازمة لاستكشاف خبايا تلك النظرية؛ فمع بدء تشغيله سيستطيع أن يسارع البروتونات إلى تريليونات الفولتات الإلكترونية بحيث تصبح قادرة على تفتيت الذرة، ويأمل الفيزيائيون أن يجدوا بعد معاينة الحطام المتخلف عن هذا الاصطدام الكبير نوعًا جديدًا من الجسيمات يكون «جسيمًا فائقًا» ذا رنين أكبر على الوتر الفائق.

وهناك تكهنات بأن المادة السوداء يمكن أن تتألف من جسيمات فائقة، فمثلًا هناك شريك للفوتون يسمى «فوتينو» وهو جسيم محايد الشحنة ومستقر وذو كتلة؛ فإذا كان الكون مملوءًا بغاز من الفوتينات فلن نستطيع أن نراه لأنه سيسلك مسلك المادة السوداء، وإذا استطعنا في يوم من الأيام أن نتعرف على حقيقة المادة السوداء فقد نستطيع يومها أن نخرج بدليل غير مباشر على صحة نظرية الأوتار الفائقة.

غير أن هناك طريقة أخرى يمكن بها اختبار النظرية اختبارًا غير مباشر من خلال تحليل موجات الجاذبية التي نشأت من الانفجار الكبير؛ فعندما تُطلَق مستشعرات ليسا لموجات الجاذبية في الفضاء في العقد القادم قد تتمكن من رصد موجات الجاذبية التي انطلقت مباشرة بعد جزء على تريليون جزء من الثانية من لحظة خلق الكون، وإذا توافقت النتائج التي ستخرج بها مع فرضيات نظرية الأوتار الفائقة فسيكون هذا البرهان الدامغ على صحتها.

أما عن نظرية الغشاء فقد تستطيع أن تزيل بعض الغموض الذي يلف نظرية كالوزا-كلاين القديمة المتعلقة بالكون؛ ذكرنا من قبل أن أحد أكبر الاعتراضات على هذه النظرية هو أنها تتعامل مع أبعاد عليا لا يمكن ملاحظتها معمليًّا، في حين أن هذه الأبعاد لا بد أن تكون أصغر من الذرة (وإلا لسبحت الذرات في تلك الأبعاد العليا). لكن نظرية الغشاء تقدم لنا حلًّا محتملًا لهذه المعضلة بافتراض أن كوننا ذاته هو غشاء طافٍ في فضاء مدمج ذي أحد عشر بُعدًا، وبالتالي فالذرات والجسيمات دون الذرية محدودة بحدود غشائنا (كوننا) على عكس الجاذبية التي تشذ عن الفضاء المدمج لأنها تستطيع أن تتنقل بحرية بين الأكوان.

وهذه النظرية يمكن أن تختبر مع غرابتها؛ فمنذ عهد إسحق نيوتن والفيزيائيون يعرفون أن الجاذبية تقل بمعدل التربيع العكسي للمسافة، وفي الأكوان ذات الأربعة أبعاد المكانية تقل الجاذبية بمعدل التكعيب العكسي للمسافة، وبناء على هذا يمكننا أن نرصد وجود كون آخر من خلال قياس ما يقع من انحرافات طفيفة عن قانون التربيع العكسي، وحديثًا طرحت فكرة مفادها أنه إذا كان هناك كون موازٍ يبعد عن كوننا ميليمترا واحدًا فقد تنطبق عليه قوانين نيوتن للجاذبية، ويمكن أيضًا رصده بواسطة مصادم الهدرونات الكبير. ولقد أثارت هذه الفكرة اهتمام الفيزيائيين للغاية فهي تتنبأ بإمكانية اختبار أحد جوانب نظرية الأوتار الفائقة في القريب العاجل؛ إما بتحليل الجزيئات الفائقة أو بتحليل كون مواز لا يبعد عن كوننا إلا بمقدار ميليمتر واحد فقط.

ولهذه الأكوان الموازية القدرة على أن تقدم لنا تفسيرًا جديدًا لطبيعة المادة السوداء؛ فإذا كان هناك كون موازٍ يقع بالقرب منا فلن نستطيع أن نراه أو نستشعر وجوده (لأن المادة محدودة بحدود كوننا الغشائي) لكننا سنتمكن من استشعار جاذبيته (لأنها قادرة على أن تتنقل بين الأكوان). قد يتبدى هذا لنا كما لو كان الفضاء غير المرئي له شكل من أشكال الجاذبية كما للمادة السوداء، بل إن بعض العلماء المختصين بنظرية الأوتار الفائقة رأوا أنه قد لا تكون المادة السوداء إلا جاذبية أنتجها كون موازٍ قريب من كوننا.

لكن الواقع أن المعضلة التي تحول دون إثبات صحة نظرية الأوتار الفائقة ليست تجريبية؛ فإننا لا نحتاج لأن نبني محطمات ذرة عملاقة أو أقمار صناعية تحوم في الفضاء كي نحقق هذا الهدف، بل هي معضلة نظرية قلبًا وقالبًا، فإننا لو امتلكنا الذكاء الكافي لحل معادلات هذه النظرية حينها سنمتلك كل إجابات الأسئلة المتعلقة بكوننا ونجومه ومجراته وكواكبه بل من يقطنه من البشر أيضًا، لكن حتى يومنا هذا لم يظهر بين الناس من هو بالذكاء الكافي ليحل هذه المعادلات. وربما يخرج أحد ما غدًا أو بعد عشر سنين ليقول إنه قد أكمل حل معادلات هذه النظرية، حينها فقط سنعرف إذا كانت هذه هي بالفعل نظرية كل شيء أم هي نظرية لا شيء، فلأنها محددة للغاية وذات ثوابت غير قابلة للتعديل فلا يوجد حل وسط بين هاتين النتيجتين.

هل ستسمح لنا نظرية الأوتار الفائقة أو نظرية الغشاء بأن نوحد قوانين الطبيعة في كلٍّ بسيط متكامل كما قال أينشتاين ذات مرة؟ لا يزال الوقت مبكرًا على الإجابة عن هذا السؤال. وفي هذا المقام يحضرنا قول أينشتاين: «إن المبادئ الخلاقة تكمن في الرياضيات. ولهذا فإنني أؤمن أن الفكر المجرد قادر على استيعاب الواقع تمامًا كما كان القدماء يعتقدون.»[١٤] ولعل قارئًا شابًّا لهذا الكتاب يجد إلهامه في فكرة توحيد جميع القوى الفيزيائية فيتمكن من إتمام هذه المهمة.

وبعد كل هذا قد يتسنى لنا أن نعيد تقييم تركة أينشتاين بشكل صحيح، فبدلًا من أن نقول إنه كان يجدر به أن يتوقف عن البحث عام ١٩٢٥ ويقضي بقية حياته يمارس الصيد، لعل خير ما يقال عنه هو: «إن المعارف الفيزيائية كلها تتلخص في نظريتين فقط يُكَوِّنان معًا عماد علم الفيزياء هما: النسبية العامة، ونظرية الكم. وأينشتاين هو مُوجِد الأولى والأب الروحي للثانية وهو أيضًا من مهد الطريق لتوحيدهما معًا.»

ملاحظات

المقدمة

(١) برايان، صفحة ٤٣٦.
(٢) بايس، «أينشتاين عاش هنا» صفحة ٤٣.

الفصل الأول: الفيزياء قبل أينشتاين

(١) بايس، «أينشتاين عاش هنا» صفحة ١٥٢.
(٢) فرينش، صفحة ١٧١.
(٣) كروبر، صفحة ١٩.
(٤) المرجع السابق، صفحة ١٧٣.
(٥) المرجع السابق، صفحة ١٦٣.
(٦) المرجع السابق، صفحة ١٦٤.

الفصل الثاني: السنوات الأولى

(١) برايان، صفحة ٣.
(٢) كلارك، صفحة ٢٧.
(٣) برايان، صفحة ٣.
(٤) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٣٨.
(٥) كروبر، صفحة ٢٠٥.

(٦) شيلب، صفحة ٩.
(٧) المرجع السابق، صفحة ٥
(٨) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٣٨.
(٩) شيلب، صفحة ٩.
(١٠) سوجيموتو، صفحة ١٤.
(١١) برايان، صفحة ٧.
(١٢) كلارك، صفحة ٥٦.
(١٣) فولسينج، صفحة ٣٩.
(١٤) المرجع السابق، صفحة ٤٤.
(١٥) برايان، صفحة ١٢؛ فولسينج صفحة ٤٢.
(١٦) شيلب، صفحة ١٥.
(١٧) المرجع السابق، صفحة ٥٣.
(١٨) كالابريس، صفحة ٢٦١.
(١٩) كلارك، صفحة ٥٥.
(٢٠) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٤٤؛ برايان، صفحة ٣١.
(٢١) فولسينج، صفحة ٥٧.
(٢٢) سوجيموتو، صفحة ١٩.
(٢٣) فولسينج، صفحة ٧١.
(٢٤) برايان، صفحة ٣١.
(٢٥) المرجع السابق، صفحة ٤٧.
(٢٦) المرجع السابق.
(٢٧) المرجع السابق، صفحة ٢٥.
(٢٨) المرجع السابق.
(٢٩) ثورن، صفحة ٦٩.
(٣٠) شيلب، صفحة ٣.
(٣١) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٤١.

(٣٢) برايان، صفحة ٦٩.
(٣٣) المرجع السابق، صفحة ٥٢.
(٣٤) المرجع السابق، صفحة ٥٣.
(٣٥) المرجع السابق.
(٣٦) سوجيموتو، صفحة ٣٣.
(٣٧) المرجع السابق، صفحة ٣١.
(٣٨) برايان، صفحة ٥٥.

الفصل الثالث: النسبية الخاصة و«عام المعجزات»

(١) فولسينج، صفحة ١٦٦.
(٢) برايان، صفحة ٦١.
(٣) المرجع السابق.
(٤) المرجع السابق، صفحة ١٥٢. تقتفي العديد من السير الذاتية أثر أفكار أينشتاين من خلال الرجوع إلى تجربة مايكلسون ومورلي، لكن أينشتاين نفسه أوضح مرات عديدة أن هذه التجربة أثرت على تفكيره بصورة ثانوية فحسب. توصل أينشتاين إلى نظرية النسبية من خلال معادلات ماكسويل. وقد كان المغزى العام لبحثه الأصلي هو توضيح أن ثمة اتساقًا خفيًّا بين معادلات ماكسويل يتضح من خلال نظريته حول النسبية، وينبغي أن ترقى هذه الفكرة لتصبح مبدأً عالميًّا من مبادئ الفيزياء.
(٥) فولسينج، صفحة ١٥٥؛ بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ١٣٩.
(٦) كروبر، صفحة ٢٠٦.
(٧) فولسينج، صفحة ١٩٦.
(٨) المرجع السابق، ١٩٧.
(٩) برايان، صفحة ٧١.
(١٠) المرجع السابق، صفحة ٧٢.

(١١) المرجع السابق، صفحة ٧٦.

(١٢) كروبر، صفحة ٢٢٠.

(١٣) كلارك، صفحة ١٥٩.

(١٤) كروبر، صفحة ٢٢٠.

(١٥) برايان، صفحة ٧٣.

(١٦) المرجع السابق، صفحة ٧٥.

(١٧) كروبر، صفحة ٢١٥.

(١٨) على مر العقود قُدِّمت التناقضات لتوضح طبيعة النسبية الخاصة التي تبدو في ظاهرها غريبة. ودائمًا ما تضمنت هذه التناقضات إطارين مرجعيين يتحركان بسرعات مختلفة تنتج عنها مشاهدات مختلفة لنفس الشيء. تظهر التناقضات لأن المشاهدين في كل إطار يرون نفس الشيء بصورتين مختلفتين تمامًا. ويمكن حل جميع التناقضات تقريبًا باستخدام مشاهدتين؛ أولًا: لا بد من معادلة تقلص الأطوال في أحد الإطارين باستخدام تمدد الزمن في الآخر. إذا غاب عنا معادلة انحراف المكان مع انحراف الزمان، تنشأ التناقضات. ثانيًا: تنشأ التناقضات إذا غاب عنا جمع الإطارين معًا في النهاية، فالقرار النهائي بشأن أيهما أصغر أو أقصر يمكن تحقيقه عندما نضع المشاهدين معًا في الزمان والمكان ونقارن بينهما. إذا لم نضع المشاهدين معًا فمن الممكن أن نحصل على شيئين كلاهما أصغر وأقصر من الآخر وهو أمر جائز الحدوث في الفيزياء النيوتونية.

(١٩) «ذات مرة كان هناك سيدة تدعى برايت ...»: إن التحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء من أجل كسر حاجز الزمن للعودة إلى الخلف في الزمن أمر غير ممكن، فعندما تقترب من سرعة الضوء تصبح كتلتك مطلقة تقريبًا وستُضْغَط حتى تصبح نحيلًا لأقصى حد ممكن تقريبًا ويكاد الزمن أن يتوقف. من ثم فإن سرعة الضوء هي أقصى سرعة في الكون. على الرغم من ذلك، فإنني أناقش مخارج ممكنة لهذا الأمر فيما بعد عند الحديث عن الثقوب الدودية وجسور أينشتاين روزين.

(٢٠) سوجيموتو، صفحة ٤٤.

(٢١) كروبر، صفحة ٢١٦.
(٢٢) فولسينج، صفحة ٣٣٦.
(٢٣) المرجع السابق، صفحة ٣٣٢.
(٢٤) برايان، ١٥١.

الفصل الرابع: النسبية العامة و«أسعد أفكار حياتي»

(١) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٢٣٩.
(٢) المرجع السابق، صفحة ١٧٩؛ فولسينج، صفحة ٣٠٣.
(٣) فولسينج، صفحة ٤٣٥.
(٤) كالابريس، صفحة ٩.
(٥) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٢١٢.
(٦) فولسينج، صفحة ٣١٥.
(٧) كالابريس، صفحة ٢٥٢.
(٨) مبدأ ماخ: ينص مبدأ ماخ على أن القصور الذاتي لشيء — ومن ثم كتلته — يرجع إلى وجود جميع الكتل الأخرى في الكون، مثل النجوم البعيدة. أعاد ماخ صياغة إحدى المشاهدات التي تعود إلى زمن نيوتن وهي أن سطح الدلو الذي يدور مملوءًا بالماء ينخفض. وكلما كان الدوران أسرع زاد انخفاض السطح (بسبب قوى الجذب المركزي). إذا كانت جميع الحركات نسبية — بما فيها حركات الدوران — فمن الممكن أن نتخيل أن الدلو ساكن وأن جميع النجوم البعيدة تدور حوله. لذلك فكر ماخ أن حركة النجوم البعيدة هي التي سببت تقعر سطح الماء الساكن. ونتيجة لذلك فإن وجود النجوم البعيدة يحدد الخصائص الجامدة لدلو الماء بما في ذلك كتلته. عدَّل أينشتاين هذا القانون ليشير إلى أن المجال المغناطيسي يتحدد بتوزيع الكتل في الكون.
(٩) فولسينج، صفحة ٣٢٠.

(١٠) يعني التغاير العام أن المعادلات تحتفظ بنفس الشكل بعد تغيير الإحداثيات (يطلق على ذلك الأمر اليوم اسم «التحويل القياسي»). لم يقدر أينشتاين عام ١٩١٢ أن ذلك يعني أن التنبؤات الفيزيائية لنظريته ظلت كما هي أيضًا بعد تغيير الإحداثيات. ولذلك فإنه اكتشف في عام ١٩١٢ أن نظريته تعطي عددًا لا نهائيًّا من الحلول للمجال المغناطيسي المحيط بالشمس؛ الأمر الذي أصابه بالذعر. ومن ثم فإن انحناء ريتشي كان شيئًا رياضيًّا محدد التعريف تمامًا يمكنه وصف المجال المغناطيسي حول أحد النجوم وفقًا لمبدأ ماخ.

(١١) فولسينج، صفحة ٣٧٤.

(١٢) المرجع السابق، صفحة ٣٧٣.

(١٣) المرجع السابق، صفحة ٣٧٢.

(١٤) برايان، صفحة ٨٩.

(١٥) سوجيموتو، صفحة ٥١.

(١٦) فولسينج، صفحة ٣٤٣.

(١٧) أدت الفوضى التي سببتها الحرب العالمية الأولى إلى إغلاق جامعة برلين تقريبًا عندما أحكم الطلبة قبضتهم على الحرم الجامعي ورئيس الجامعة. اتصل أعضاء الكلية على الفور بأينشتاين ليساعدهم في التفاوض على إطلاق سراحهم. وبدوره اتصل أينشتاين بعالم فيزياء يدعى ماكس بورن ليساعده في الإعداد لهذه الرحلة المحفوفة بالمخاطر التي يسعى من خلالها للتفاوض مع الطلبة. كتب بورن بعدها أنهما سافرا «في الحي البافاري عبر الشوارع المكتظة بشباب يصيحون في همجية ويرفعون الشارات الحمراء ... كان أينشتاين مشهورًا بأنه ينتمي سياسيًّا إلى الجناح اليساري — إذا لم يكن شيوعيًّا — ولذا سيكون أنسب شخص يساعد في التفاوض مع الطلبة» (برايان، صفحة ٩٧). تعرف الطلبة على أينشتاين وسلموه مطالبهم ووافقوا على إطلاق سراح السجناء إذا استجاب رئيس الحزب الديمقراطي الاجتماعي المنتخب مؤخرًا فريدريك إيبرت لهم. ذهب أينشتاين وبورن بعدها إلى قصر مستشار الرايخ ورفعوا الأمر إلى الرئيس الذي وافق

بعدها على السماح بإطلاق سراح السجناء. ذكر بورن فيما بعد: «تركنا قصر مستشار الرايخ ونحن نشعر بسعادة غامرة لاشتراكنا في حدث تاريخي كهذا وكلنا أمل في انتهاء عهد الغطرسة البروسية والأرستقراطيين البروسيين بكل ما لديهم من نفوذ وكذا زمرة المسئولين والجيش وفي انتصار الديمقراطية الألمانية.» وعلى ما يبدو فإن أينشتاين وبورن — وهما عالما الفيزياء النظرية المهتمان بكشف خبايا الذرة والكون — قد وجدا تطبيقًا أكثر واقعية لمواهبهما وهو إنقاذ الجامعة.

الفصل الخامس: خليفة كوبرنيكوس

(١) سوجيموتو، صفحة ٥٧.
(٢) كالابريس، صفحة ٩٧.
(٣) باركر، صفحة ١٢٤.
(٤) المرجع السابق.
(٥) كلارك، صفحة ٢٩٠؛ باركر، صفحة ١٢٤.
(٦) باركر، صفحة ١٢٦.
(٧) المرجع السابق.
(٨) فولسينج، صفحة ٤٤٥.
(٩) المرجع السابق.
(١٠) المرجع السابق، صفحة ٤٥١.
(١١) المرجع السابق، ٣٤٣.
(١٢) كروبر، صفحة ٢١٧.
(١٣) المرجع السابق، صفحة ٢١٧.
(١٤) برايان، صفحة ١٠٦.
(١٥) المرجع السابق، صفحة ١٠٢.
(١٦) المرجع السابق، صفحة ١٠١.
(١٧) المرجع السابق، صفحة ١٠٢.

(١٨) المرجع السابق، صفحة ١٠٣.

(١٩) فولسينج، صفحة ١٩٩.

(٢٠) بايس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ٢١٩.

(٢١) سوجيموتو، صفحة ٦٦.

(٢٢) برايان، صفحة ١١٣.

(٢٣) تجدر الإشارة إلى أن زملاء أينشتاين الصهاينة كانوا يخشون أن يتفوه بأمور لا يتفقون معها وهو المعروف بالتعبير عن أفكاره صراحة. ذكر أينشتاين على سبيل المثال ذات مرة أن موطن اليهود ينبغي أن يكون في بيرو مؤكدًا أنه لا يُشترط ترك أي فرد مكانه بلا داع إذا استوطن اليهود هناك. وكثيرًا ما أشار أينشتاين إلى أن الصداقة والاحترام المتبادل بين اليهود والشعوب العربية بلا شك عوامل مهمة في أي محاولة ناجحة لإنشاء دولة يهودية في الشرق الأوسط حيث كتب ذات مرة: «علينا أن نفكر في تحقيق اتفاق مقبول مع العرب قوامه الحياة معًا في سلام بدلًا من إنشاء دولة يهودية.»

(٢٤) برايان، صفحة ١٢٠.

(٢٥) المرجع السابق، صفحة ١٢١.

(٢٦) سوجيموتو، صفحة ٧٤.

(٢٧) برايان، صفحة ١٢٣.

(٢٨) المرجع السابق، صفحة ١٣٠.

(٢٩) بايس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ١٥٤.

(٣٠) فولسينج، صفحة ٥٠٥.

(٣١) برايان، صفحة ١٣١.

(٣٢) بايس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ١٥٢.

(٣٣) سوجيموتو، صفحة ٦٣.

(٣٤) المرجع السابق، صفحة ٦٤.

(٣٥) كلارك، صفحة ٣٦٠.

(٣٦) برايان، صفحة ١٥٠.

(٣٧) المرجع السابق، صفحة ١٤٦.

(٣٨) برايان، صفحة ١٤٤.

(٣٩) كان أينشتاين — وهو أحد رموز المجتمع الألماني — محاطًا دومًا بزمرة من السيدات الثريات اللاتي يسعين إلى الاستماع لرجاحة عقله وحكمته، وكانت الكثيرات منهن يتبرعن بسخاء لدعم قضاياه وجمعياته الخيرية المفضلة. وفي بعض الأحيان كان بعضهن يرسل سيارة ليموزين خاصة إلى منزله الصيفي في كابوت لمرافقته إلى حفلات جمع التبرعات أو الحفلات الموسيقية. وكان لا بد من انتشار الشائعات حول وجود علاقات مزعومة مع هؤلاء السيدات. وإذا تعقب أحد مصدر تلك الشائعات لوجد أن مصدرها الأساسي هيرتا والدو التي كانت تعمل خادمة في المنزل الصيفي، والتي كانت تبيع قصصها إلى الصحافة على الرغم من أنها لا تمتلك أي دليل على ارتباط أينشتاين بعلاقة مع أي امرأة سوى زوجته، وقد اعترفت أن سيدات المجتمع هؤلاء كن يقدمن الشيكولاتة بأنفسهن إلى إلسا عند اصطحاب زوجها كي لا تعتريها الشكوك. علاوة على ذلك فإن كونراد واكسمان — المهندس الذي ساعد في تصميم المنزل الصيفي في كابوت — تعرف عن قرب على أسرة أينشتاين، وخلص إلى أن هذه العلاقات لن تؤذيه على الإطلاق، وأنه يعتقد أن هذه العلاقات كانت — «بلا استثناء تقريبًا» — بريئة في طبيعتها، وأن أينشتاين لم يخن إلسا أبدًا مع أي من هؤلاء السيدات.

(٤٠) كروبر، صفحة ٢١٧.

(٤١) بايس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ١٨٤.

(٤٢) سوجيموتو، صفحة ١٢٢.

(٤٣) برايان، صفحة ٢٠٥.

(٤٤) كالابريس، صفحة ٣٣٦.

(٤٥) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٣١٨.

(٤٦) بايس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ١٨٦.

(٤٧) كالابريس، صفحة ٢٩٣.

(٤٨) بايس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ١٢٢.

(٤٩) المرجع السابق، صفحة ١١٩.

(٥٠) سوجيموتو، صفحة ١١٣.

(٥١) برايان، صفحة ١٨٦.

الفصل السادس: الانفجار العظيم والثقوب السوداء

(١) ميسنر وآخرون، صفحة ٧٥٦.

(٢) كروسويل، صفحة ٣٥.

(٣) ثورن، صفحة ٢١٠.

(٤) بيترز وآخرون، صفحة ٧.

(٥) المرجع السابق.

الفصل السابع: التوحيد وتحدي نظرية الكم

(١) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٢٣.

(٢) باركر، صفحة ٢٠٩.

(٣) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٣٤٣.

(٤) المرجع السابق، صفحة ٣٣٠.

(٥) المرجع السابق، صفحة ٣٣٠.

(٦) بابيس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ١٧٩.

(٧) كروبر، صفحة ٢٥٧.

(٨) المرجع السابق.

(٩) المرجع السابق.

(١٠) المرجع السابق.

(١١) كالابريس، صفحة ٢٣١.

(١٢) مور، صفحة ١٩٥.

(١٣) لأن المادة تميل إلى الانهيار إلى أقل حالات الطاقة، فمعنى هذا أن جميع الإلكترونات يمكن أن تسقط في حالات الطاقة السالبة وأن الكون سينهار. ولتلافي وقوع هذه الكارثة افترض ديراك أن جميع حالات الطاقة السالبة كانت ممتلئة بالفعل. يمكن لشعاع جاما أثناء مروره أن يرتطم بأحد الإلكترونات ويخرجه من حالة الطاقة السلبية الخاصة به تاركًا «ثقبًا» أو فقاعة. وتوقع ديراك أن هذا الثقب سيسلك مسار إلكترون ذي شحنة موجبة، بمعنى أنه سيكون مادة مضادة.

(١٤) بايس، «الحد الداخلي»، صفحة ٣٤٨.

(١٥) المرجع السابق، صفحة ٣٦٠.

(١٦) فولسينج، صفحة ٥٨٥.

(١٧) المرجع السابق.

(١٨) برايان، صفحة ١٥٦.

(١٩) فيريس، صفحة ٢٩٠.

(٢٠) عرض أينشتاين موقفه بوضوح فيما يتعلق بالحتمية والشك قائلًا: «أؤمن بالحتمية وبأني مجبر على التصرف كما لو كنت أتمتع بحرية الإرادة، لأنني لو كنت أتمنى أن أحيا في مجتمع متحضر لتعين علي أن أتصرف بدافع من الإحساس بالمسئولية. أدرك من الجانب الفلسفي أن القاتل ليس مسئولًا عن جرائمه، لكني لا أفضل تناول الشاي معه ...قد يطلق هنري فورد على ذلك اسم الصوت الداخلي، وأشار إليه سقراط على أنه حارسه، فكل إنسان يفسر حقيقة أن الإنسان مُسَيَّر بأسلوبه الخاص ... إن كل شيء محدد — البداية والنهاية — من قِبل قوى لا سلطان لنا عليها.» (برايان، صفحة ١٨٥).

(٢١) كروبر، صفحة ٢٤٤.

(٢٢) فولسينج، صفحة ٥٦١.

(٢٣) المرجع السابق، صفحة ٥٩١

(٢٤) برايان، صفحة ٣٠٦.

(٢٥) كاكو، «الحيز الفائق»، صفحة ٢٨٠.
(٢٦) المرجع السابق، صفحة ٢٦٠.
(٢٧) كالابريس، صفحة ٢٦٠.
(٢٨) برايان، صفحة ٢٨١.
(٢٩) المرجع السابق.
(٣٠) فولسينج، صفحة ٦٩٨.
(٣١) بايس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ١٢٨.

الفصل الثامن: الحرب والسلام و $E = mc^2$

(١) كروبر، صفحة ٢٢٦.
(٢) سوجيموتو، صفحة ١٢٧.
(٣) بايس، «أينشتاين عاش هنا»، صفحة ١٩٠.
(٤) فولسينج، صفحة ٦٧٥.
(٥) المرجع السابق.
(٦) كروبر، صفحة ٢٧١.
(٧) برايان، صفحة ٢٤٧.
(٨) كروبر، صفحة ٢٧١.
(٩) موور، صفحة ٢٦٥.
(١٠) كروبر، صفحة ٢٢٦.
(١١) برايان، صفحة ٢٥١.
(١٢) باركر، صفحة ١٧.
(١٣) فولسينج، صفحة ٦٧٢.
(١٤) المرجع السابق.
(١٥) برايان، صفحة ٢٩٧.
(١٦) المرجع السابق.
(١٧) فولسينج، صفحة ٦٩٩.

(١٨) المرجع السابق، صفحة ٧٠٧.

(١٩) المرجع السابق، صفحة ٧٠٨.

(٢٠) المرجع السابق.

(٢١) المرجع السابق، صفحة ٧٠٩.

(٢٢) المرجع السابق، صفحة ٧٠٨.

(٢٣) المرجع السابق، صفحة ٧١٢.

(٢٤) بايس، «الحد الداخلي»، صفحة ٤٣٦.

(٢٥) كروبر، صفحة ٣٤٠.

(٢٦) فولسينج، صفحة ٧١٠.

(٢٧) المرجع السابق، صفحة ٧١٢.

(٢٨) المرجع السابق.

(٢٩) كروبر، صفحة ٣٤٢.

(٣٠) المرجع السابق.

(٣١) فولسينج، صفحة ٧١٤.

(٣٢) المرجع السابق.

(٣٣) المرجع السابق، ٧١٥.

(٣٤) برايان، صفحة ٣٤٤.

(٣٥) في عام ١٩٤٨ وضع أينشتاين مسودة «رسالة إلى العقلاء» التي ورد فيها: «لم ينجح الإنسان في تطوير نماذج سياسية واقتصادية من التنظيم، تضمن التعايش السلمي لشعوب العالم. ويتعين علينا نحن العلماء — الذين فرض عليهم مصيرهم المأساوي أن يساهموا في جعل وسائل الإبادة أكثر بشاعة وأشد تأثيرًا — أن نأخذ على عاتقنا بذل ما في وسعنا من أجل منع استخدام هذه الأسلحة للأغراض الوحشية التي اخترعت من أجلها، وأن نجعل من ذلك واجبًا مهيبًا وساميًا. أي مهمة أكثر أهمية من ذلك؟ أي مقصد اجتماعي سيكون أقرب إلى قلوبنا من ذلك؟» (سوجيموتو، صفحة ١٥٣).

أوضح أينشتاين رأيه فيما يتعلق بحكم العالم عندما قال: «الخلاص الوحيد للحضارة ... يكمن في تأسيس حكومة عالمية يكون أمن الشعوب فيها قائمًا على القانون ... وإذا استمرت الدول ذات السيادة في امتلاك أسلحة مختلفة وخبايا التسلح، فسيصبح اندلاع حروب عالمية جديدة أمرًا لا مفر منه.» (فولسينج، صفحة ٧٢١).

(٣٦) برايان، صفحة ٣٥٠.

(٣٧) المرجع السابق، صفحة ٣٥٩.

(٣٨) وينبيرج، صفحة ١٥٣.

(٣٩) برايان، صفحة ٣٣١.

(٤٠) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٤٦٥.

(٤١) المرجع السابق، صفحة ١٦٢.

(٤٢) برايان، صفحة ٣٧٧.

(٤٣) كروبر، صفحة ٢٢٣.

(٤٤) المرجع السابق.

(٤٥) كالابريس، صفحة ٢٣٢.

(٤٦) المرجع السابق، ٢٤١.

(٤٧) المرجع السابق.

(٤٨) بايس، «الحد الداخلي»، صفحة ٥٨٥.

(٤٩) كاكو، «ما بعد أينشتاين»، صفحة ١١.

(٥٠) كروبر، صفحة ٢٥٢.

(٥١) أوفرباي، صفحة ٣٧٧.

(٥٢) كالابريس، صفحة ٦٣.

الفصل التاسع: نبوءات أينشتاين

(١) كريس ومان، صفحة ٦٧.

(٢) بارو، صفحة ٣٧٨.

(٣) نادى بيل بإعادة دراسة تجربة EPR (أينشتاين-بودولسكي-روزين) القديمة. من الناحية النظرية يمكن للفرد أن يقيس الزوايا التي يكونها محور استقطاب أزواج الإلكترونات. ومن خلال إجراء تحليل مفصل للترابط بين الزوايا المختلفة للاستقطاب بين زوجين من الإلكترونات، تمكن بيل من تكوين تفاوت أطلق عليه اسم «تفاوت بيل» فيما يتعلق بهذه الزوايا. إذا كانت ميكانيكا الكم صحيحة يمكن تبرير مجموعة من العلاقات. أما إذا كانت ميكانيكا الكم خاطئة، فيمكن تبرير مجموعة أخرى. وفي كل مرة تُجرى فيها هذه التجربة يَثْبُت أن تنبؤات ميكانيكا الكم صحيحة.

(٤) بارو، صفحة ١٤٤.

(٥) بيترز وآخرون، صفحة ١٥٥؛ نيويورك تايمز، ٣١ مارس/آذار، ١٩٩٨.

(٦) نيويورك تايمز، المرجع السابق.

(٧) هوكينج وآخرون، صفحة ٨٥.

(٨) وينبيرج، صفحة ٢١٢.

(٩) كاكو، «ما بعد أينشتاين»، صفحة ٦٧.

(١٠) المرجع السابق.

(١١) ديفيز وبراون، صفحة ٩٥. تجدر الإشارة أيضًا إلى أن آخر نسخة من نظرية الأوتار تسمى «نظرية الغشاء». تتحدد نظرية الأوتار في مكان ذي عشرة أبعاد (تسعة أبعاد منها للمكان وبعد واحد للزمان). على الرغم من ذلك هناك خمسة من نظريات الأوتار المتسقة مع نفسها يمكن كتابتها في عشرة أبعاد، وهو ما أثار حيرة واضعي النظريات، الذين يفضلون وجود مرشح واحد لنظرية مجال موحدة بدلًا من وجود خمسة اختيارات. وحديثًا أوضح ويتين وزملاؤه أن النظريات الخمسة متساوية بالفعل إذا عرَّف الفرد النظرية في مكان ذي أحد عشر بعدًا (عشرة أبعاد منها للمكان وبعد واحد للزمان). ففي الأحد عشر بعدًا، يمكن أن توجد أغشية بعدية أعلى، والبعض

يعتقد أن الكون الذي نعيش فيه ربما يكون واحدًا من هذه الأغشية. على الرغم من أن مقدمة نظرية الغشاء كانت بمنزلة تقدم هائل في نظرية الأوتار، فإنه ما من أحد في الوقت الحاضر يعرف المعادلات المحددة لنظرية الغشاء.

(١٢) المرجع السابق، صفحة ١٥٠.

(١٣) بايس، «كَيِّس هو الرب»، صفحة ٣٢٨.

(١٤) كاكو، «نظرية مجال الكم»، صفحة ٦٩٩.

المصادر

According to his will, Einstein donated all his manuscripts and letters in the Einstein Archives to Hebrew University in Jerusalem. Copies of the documents can be found at Princeton University and Boston University. *The Collected Papers of Albert Einstein* (vols. 1 through 5), edited by John Stachel, provides translations of this voluminous material.

Barrow, John D. *The Universe That Discovered Itself.* Oxford University Press, Oxford, 2000.

Bartusiak, Marcia. *Einstein's Unfinished Symphony.* Joseph Henry Press, Washington, D.C., 2000.

Bodanis, David. $E = mc^2$. Walker, New York, 2000.

Brian, Denis. *Einstein: A Life.* John Wiley and Sons, New York, 1996.

Calaprice, Alice, ed. *The Expanded Quotable Einstein.* Princeton University Press, Princeton, 2000.

Clark, Ronald. *Einstein: The Life and Times.* World Publishing, New York, 1971.

Crease, R., and Mann, C. C. *Second Creation.* Macmillan, New York, 1986.

Cropper, William H. *Great Physicists.* Oxford University Press, New York, 2001.

Croswell, Ken. *The Universe at Midnight.* Free Press, New York, 2001.

Davies, P. C. W., and Brown, Julian, eds. *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge University Press, New York, 1988.

Einstein, Albert. *Ideas and Opinions.* Random House, New York, 1954.

Einstein, Albert. *The Meaning of Relativity.* Princeton University Press, Princeton, 1953.

Einstein, Albert. *Relativity: The Special and the General Theory.* Routledge, New York, 2001.

Einstein, Albert. The World as I See It. Kensington, New York, 2000.

Einstein, Albert, Lorentz, H. A., Weyl, H., and Minkowski, H. *The Principle of Relativity.* Dover, New York, 1952.

Ferris, Timothy. *Coming of Age in the Milky Way.* Anchor Books, New York, 1988.

Flückiger, Max. *Albert Einstein in Bern.* Paul Haupt, Bern, 1972.

Folsing, Albrecht. *Albert Einstein.* Penguin Books, New York, 1997.

Frank, Philip. *Einstein: His Life and His Thoughts.* Alfred A. Knopf, New York, 1949.

French, A. P., ed. *Einstein: A Centenary Volume.* Harvard University Press, Cambridge, 1979.

Gell-Mann, Murray. *The Quark and the Jaguar.* W. H. Freeman, San Francisco, 1994.

Goldsmith, Donald. *The Runaway Universe.* Perseus Books, Cambridge, Mass., 2000.

Hawking, Stephen, Thorne, Kip, Novikov, Igor, Ferris, Timothy, and Lightman, Alan. *The Future of Spacetime.* W. W. Norton, New York, 2002.

Highfield, Roger, and Carter, Paul. *The Private Lives of Albert Einstein.* St. Martin's, New York, 1993.

Hoffman, Banesh, and Dukas, Helen. *Albert Einstein, Creator and Rebel.* Penguin, New York, 1973.

Kaku, Michio. *Beyond Einstein.* Anchor Books, New York, 1995.

Kaku, Michio. *Hyperspace.* Anchor Books, New York, 1994.

Kaku, Michio. *Quantum Field Theory.* Oxford University Press, New York, 1993.

Kragh, Helge. *Quantum Generations.* Princeton University Press, Princeton, 1999.

Miller, Arthur 1. *Einstein, Picasso.* Perseus Books, New York, 2001.

Misner, C. W., Thorne, K. S., and Wheller, J. A. *Gravitation.* W. H. Freeman, San Francisco, 1973.

Moore, Walter. *Schrödinger, Life and Thought.* Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

Overbye, Dennis. *Einstein in Love: A Scientific Romance.* Viking, New York, 2000.

Pais, Abraham. *Einstein Lived Here: Essays for the Layman.* Oxford University Press, New York, 1994.

Pais, Abraham. *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World.* Oxford University Press, New York, 1986.

Pais, Abraham. *Subtle Is the Lord—: The Science and the Life of Albert Einstein.* Oxford University Press, New York, 1982.

Parker, Barry. *Einstein's Brainchild: Relativity Made Relatively Easy.* Prometheus Books, Amherst, N. Y., 2000.

Petters, A. O., Levine, H., and Wambganss, J. *Singularity Theory and Gravitational Lensing.* Birkhauser, Boston, 2001.

Sayen, Jamie. *Einstein in America.* Crown Books, New York, 1985.

Schilpp, Paul. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist.* Tudor, New York, 1951.

Seelig, Carl. *Albert Einstein.* Staples Press, London, 1956.

Silk, Joseph. *The Big Bang.* W. H. Freeman, San Francisco, 2001.

Stachel, John, ed. *The Collected Papers of Albert Einstein,* vols. 1 and 2. Princeton University Press, Princeton, 1989.

Stachel, John, ed. *Einstein's Miraculous Year.* Princeton University Press, Princeton, 1998.

Sugimoto, Kenji. *Albert Einstein: A Photographic Biography.* Schocken Books, New York, 1989.

Thorne, Kip S. *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy.* W. W. Norton, New York, 1994.

Trefil, James S. *The Moment of Creation.* Collier Books, New York, 1983.

Weinberg, Steven. *Dreams of a Final Theory.* Pantheon Books, New York, 1992.

Zackheim, Michele. *Einstein's Daughter.* Riverhead Books, New York, 1999.

Zee, A. *Einstein's Universe: Gravity at Work and Play.* Oxford University Press, New York, 1989.

مسرد المصطلحات

Affine Field Theory	نظرية المجالات الأفينية
Angular Momentum	كمية التحرك الزاوي
Antimatter	المادة المضادة
Bianchi identities	متطابقات بيانكي
Big Freeze	التجمد الأعظم
Brownian motion	الحركة البراونية
Casimir Effect	تأثير كازيمير
Chronology Protection Conjecture	قانون حماية الزمن
Connection	مبدأ التواصل
Cosmological Constant	الثابت الكوني
Covariant	متغير مشارك
Determinism	مبدأ الحتمية
Epicycles	أفلاك التدوير
Equivalence Principle	مبدأ التكافؤ
Event Horizon	أفق الحدث
Fermi Force	قوة فيرمي
Ferminos	فيرمينات
Field Theory of Gravity	نظرية مجالات للجاذبية

Fudge Factor	العامل المخادع
Hubble's Constant	ثابت هابل
Hubble's Law	قانون هابل
Inflationary Universe	الكون المتضخم
Large Hadron Collider (LHC)	مصادم الهدرونات الكبير
Light Quanta	جسيمات الضوء الكمية
Lorentz Transformation	تحويل لورنتز
Lorentz-Fitzgerald Contraction	انكماش لورنتز-فيتزجيرالد
Many Worlds	العوالم المتعددة
Microwave Radiation	إشعاع الموجة الصغرى
Milky Way	مجرة الطريق اللبني
M-Theory	نظرية إم
Occam's Razor	شفرة أوكام
Olbers' Paradox	تناقض أولبر
Photino	فوتينو
Photoelectric Effect	التأثير الكهروضوئي
Planck's Constant	ثابت بلانك
Ricci Curvature	انحناء ريتشي
Scanning Tunneling Microscopes	الميكروسكوبات النفقية الماسحة
Schwarzschild Radius	دائرة شفارتزشيلد
Solitons	سوليتونات
Spin	الدوران
Standard Model	النموذج المعياري
Super Atom	ذرة فائقة
Superforce	القوة الفائقة
Supermarble	الرخام الفائق
Superspace	المكان الفائق

Superstring Theory	نظرية الأوتار الفائقة
Supersymmetry	التماثل الفائق
Tensor Calculus	حساب المتدات
Theory of Everything	نظرية كل شيء
Torsion	الانثناء
Twin Paradox	تناقض التوأم
Twisted Spaces	الفضاءات المنحنية
Wormholes	الثقوب الدودية

عن الكتاب:

في أبرع وأبسط ما كُتب عن حياة أعظم علماء القرن العشرين وأعماله يدلف بنا ميشيو كاكو إلى عقل ألبرت أينشتاين ليعرض علينا أسلوبه في التفكير. كانت أفكار أينشتاين العظيمة تراوده في شكل صور، ومن الصورة الأولى — التي تخيل فيها كيف سيبدو له شعاع الضوء إذا عدا إلى جانبه بذات سرعته — خرجت النسبية الخاصة وأشهر المعادلات الفيزيائية: $E = mc^2$ التي كشفت خبايا النجوم، وأما الصورة الثانية التي تخيل فيها نفسه يسقط عن كرسيه بمكتب براءات الاختراع في بيرن، فتمخضت عنها النسبية العامة التي ضمت فكرة الزمكان المنحني؛ هذه الفكرة التي قامت عليها نظريتا الثقوب السوداء والانفجار الكبير. غير أنه أخفق حين حاول أن يوحد جميع قوانين الطبيعة في نظرية واحدة؛ إذ لم تخطر له صورة ثالثة تهديه الطريق. لكن كثيرًا من الأفكار التي أبدعها أينشتاين فيما بعد في حياته العلمية أصبحت بذرة لمجالات جديدة في البحث العلمي، وتقنيات جديدة، وجوائز نوبل عديدة.

«ميشيو كاكو يجعل عبقرية أينشتاين تبدو لنا أشبه بحس الشعراء.»

– جورج إف ويل، صحيفة واشنطن بوست

٢٢٤ صفحة



http://www.kalimat.org

